

UNTERSUCHUNGEN DER EIGENSCHAFTEN VON VERDÜBELTEN MASSIVHOLZPLATTEN ALS WAND- UND DECKENELEMENTE

THEMA:

THERMO- UND FEUCHTEDYNAMISCHE BALANCE IN MASSIVHOLZ-BAUKÖRPERN

PROJEKTBETEILIGTE

Gesuchsteller:	Firma Nägeli AG, Holz- + Innenausbau, CH-Gais
Projektleitung:	Dipl. Ing. ETH. Hermann Blumer, Création Holz, CH-Herisau
Forschung:	Prof. Dr. Peter Niemz, Lehrstuhl für Holztechnologie, ETHZ
Programme Bauphysik:	Dr. Dipl.-Ing. Manfred Mahler, dyAna KG, D-Remscheid
Datenbank:	Dipl. Ing. Urs Steinmann, Technowood, CH-Wildhaus
Praxis:	Firma Nägeli AG, Holz- + Innenausbau, CH-Gais

AUFGABENSTELLUNG

Gebäudehüllen, Decken und Innenwände werden von der Firma Nägeli in einer verdübelten Massivholzbauweise hergestellt. Die Firma verwendet dabei hauptsächlich sägerohe Brettware in getrocknetem Zustand. Diese werden aus Sägereien der Region über kurze Wege angeliefert.

Massivholzhüllen erreichen nach klassischer Berechnung selbst bei Wandstärken von 360 mm nicht über die für den Minergie-Standard geforderten U-Werte von ca. $0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Andererseits spricht man aber diesen Massivholzkonstruktionen gefühlsmässig eine hohe Kapazität zur Temperatur- und Feuchtebalance zu.

Unsere Aufgabe bestand darin, zu zeigen, wie das Zusammenwirken der verschiedensten Faktoren wie z.B. die Wärmeleitfähigkeit der Baustoffe mit den Wärmespeicherkapazitäten ist und wie sich das dynamische Aussenklima auf das statische Innenklima durchschlägt. Eine weitere Aufgabe bestand darin, verlässliche Aussagen betreffend der Temperaturen und der Luftfeuchten in den Räumen der AppenzellerHolZ-Häuser zu machen. Die Erarbeitung von Nachweisverfahren stand somit im Mittelpunkt dieser Arbeit. Mittels einer Fallstudie wird aufgezeigt, wie ein Gebäude energetisch simuliert werden kann und wie man daraus Schlüsse für zukünftige Systemoptimierungen zieht.

INHALTSVERZEICHNIS

THEMA:	1
PROJEKTBETEILIGTE	1
AUFGABENSTELLUNG	1
EINLEITUNG	5
SYSTEMGEDANKE APPENZELLERHOLZ	6
TEILPROJEKT 1: KÜHLTRUHE IN GAIS	7
Dynamische Voruntersuchungen mit einer Kühltruhe	7
Aufbau, Kennwerte und Nummerierungen der Wandsegmente	9
Messungen und Protokolle	10
Übereinstimmung der Messwerte mit den Berechnungen	11
Simulation mit allseitig gleichen Aussenbedingungen	12
Erkenntnisse aus dem Vorversuch mit der Kühltruhe	13
TEILPROJEKT 2: FALLSTUDIE HAUS MITTELHOLZER IN GONTEN AI	14
Wandaufbau:	15
Deckenaufbau EG, OG und DG:	15
Dachaufbau:	15
Fenster und Verglasung Wintergarten:	16
Türen:	16
Innenwände:	16
Bodenplatte UG:	16
Wände UG erdberührt:	16
Grundlagen für die Simulationen	17
■ Ausseneinwirkungen (Klima)	17
■ Aussengewinnsysteme (Technische Anlagen)	17
■ Innenwirkungen (Heizen, innere Wärmequellen, Luftwechsel)	17
■ Abstimmungssteuerungen (Nutzereingriffe und Automation)	17
Raumnummerierungen UG 1-6, EG 7-13, OG 14-18, DG 19-20	18

Ermittlung der Jahres-Heizenergie über ein mittleres Klimajahr.	20
■ Annahmen Aussentemperaturen	20
■ Annahmen Heizung	20
■ Vergleiche AppenzellerHolZ mit der Ständerkonstruktion	20
Berechnung der Heizenergie für die einzelnen Räume	22
Verteilung der Energie-Einträge und der Energie-Verluste	23
Wo stehen wir im Vergleich mit den heutigen Standards?	26
Konstruktionsvergleiche AppenzellerHolZ-Ständer	27
■ Raum 6 im UG – Wochen 3 und 4 / Winter – Wochen 33 und 34 / Sommer	27
■ Raum 7 im OG – Wochen 3 und 4 / Winter – Wochen 33 und 34 / Sommer	28
■ Raum 15 im OG – Wochen 3 und 4 / Winter – Wochen 33 und 34 / Sommer	29
■ Raum 19 im DG – Wochen 3 und 4 / Winter – Wochen 33 und 34 / Sommer	30
■ Raum 12 Wintergarten – Wochen 3 und 4 / Winter – Wochen 33 und 34 / Sommer	31
Bewertung der Behaglichkeit mit dem PMV	32
Bauteilbetrachtung AppenzellerHolZ-Wand Richtung Süd-West	33
Vergleich der Oberflächentemperaturen AppenzellerHolZ-Ständer	34
TEILPROJEKT 3: MONOBLOCK AM INSTITUT FÜR BAUSTOFFE ETH ZÜRICH	35
■ Messungen der Temperaturen im Innern der Monoblocks	36
■ Messung der Luftfeuchte im Innern der Monoblocks	36
TEILPROJEKT 4: DATENBANK FÜR DIE BERECHNUNGEN	37
Zusammenfassung	37
Einführung	37
Material und Methoden	37
■ Versuchsmaterial	37
■ Wärmeleitfähigkeit	38
■ Wasserdampfdiffusion	38
■ Aufbau und Struktur der Datenbank	39
■ Schlussfolgerungen	39

TEILPROJEKT 5: SIMULATIONSPROGRAMM UND SCHNITTSTELLEN	41
Fortran-Programm dyAna	41
Zielgruppen und Einbettung der Software in eine Datenbank	41
Schnittstelle CADWORK / Simulationsprogramm von dyAna	42
Erste Illustrationen zur Schnittstelle Cadwork - dyAna	42
TEILPROJEKT 6: FEUCHTEDYNAMISCHE SIMULATIONEN	45
TEILPROJEKT 7: BETRACHTUNGEN FÜR DIE ZUKUNFT	46
Heizen mit Holz in der 2000 Watt-Gesellschaft	46
TEILPROJEKT 8: ARGUMENTARIUM THERMO- UND FEUCHTEDYNAMIK	49
Einsparpotential an Heiz- und Kühlenergie im einstelligen Prozentbereich gegenüber Leichtbauten	51
■ Beitrag zur CO ₂ -Pufferung und zusätzlich geringem Primärenergieeinsatz	50
■ Verlässliche Kenntnisse über den Verlauf der Bauteiloberflächentemperaturen	50
■ Verlässliche Kenntnisse über den Verlauf der Raumlufttemperaturen	50
■ Verlässliche Kenntnisse über den Verlauf der Luftfeuchtwerte	51
SITZUNGSTERMINE IN GAIS UND ZÜRICH	52



EINLEITUNG

„WIR MÜSSEN DANACH STREBEN, NATUR, GEBÄUDE UND MENSCH ZU EINER HÖHEREN EINHEIT ZUSAMMENZUBRINGEN.“

Le Corbusier (1887-1963)

Dieses Zitat von Le Corbusier beinhaltet mit wenigen Worten unseren gesellschaftlichen Auftrag für das Bauen von morgen. Im Zeitalter der knapper werdenden Rohstoffe und der drohenden Klimaerwärmung müssen wir unsere Gebäude so erstellen, dass sie nach und nach die Zielsetzungen einer 2000 Watt Gesellschaft im Bereich Wohnen und Bauen entsprechen. Das können wir, indem wir der Nachhaltigkeit dienen, indem wir die Bauten auf das Standortklima abstimmen und wenn wir diese mit „mitdenkenden“ Gebäudehüllen einkleiden. Es muss uns auch gelingen, einfache Werkzeuge bereit zu stellen, mit welchen die Planer, die Unternehmer und die Bewohner die Heizenergie mehr und mehr Richtung Nullverbrauch lotsen können.

Dass der Baustoff Holz dazu einen wichtigen Beitrag leisten kann, bezweifelt niemand. Wichtiger ist die Frage, wie Holz dies mit einem ressourcenschonenden Auftritt lösen kann. Da verbautes Holz als CO₂-Speicher gilt, wird der Einsatz von Massivholzkonstruktionen als positiv gewertet.

In diesem Projekt wollen wir, wie bereits erwähnt, überzeugende und verkaufsfördernde Argumentationen für eine Bauweise mit grossem Holzanteil finden. Dies soll im Bewusstsein geschehen, dass damit eine ganzheitlich gute Ausrichtung für den gesellschaftlichen Gemeinnutzen und den Eigennutzen des Eigentümers bzw. Bewohners erreicht werden kann. Dabei sind alle Aspekte des Materialeinsatzes, der Grauenenergie, der Emissionen, der Systemleistungen, der Beständigkeit und vor allem der Interaktion mit dem Standortklima und der Ausrichtung zu integrieren.

Das Fehlen an überschaubaren und verlässlichen Nachweisverfahren zur Berechnung des Energiehaushaltes und der Feuchtezustände innerhalb der Konstruktionen und der Räume in massiven Holzbauten hemmte bis anhin den sicheren Auftritt vor dem Kunden. Wir wussten nicht so recht, wie vorteilhaft solche Holzbauten sind. Aus dieser Fragenstellung heraus ist die Projektidee entstanden. Wir sind zuversichtlich, dass es nun gelungen ist, mehr Transparenz zu erlangen. Wir glauben daran, über die gewonnenen Erkenntnissen der Holzanwendung neue Chancen verschaffen zu können. Wir hoffen, dass sich die Mehrnutzen für die Kunden herum-sprechen.

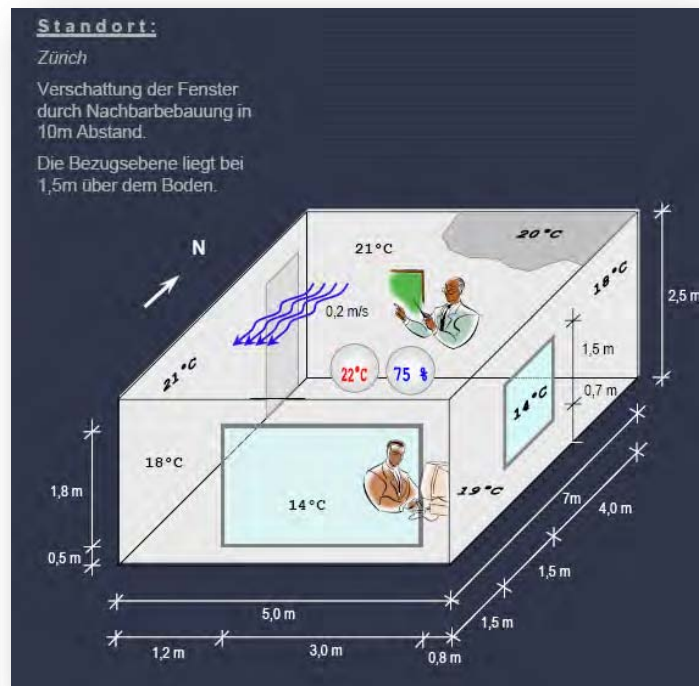


Abbildung 1:
Wie reagieren die Temperaturen in den einzelnen Räumen mit dem dynamischen Aussenklima?

Wie wohl ist es uns in unseren vier Wänden?

SYSTEMGEDANKE APPENZELLERHOLZ



Abbildungen 2 bis 4:

Die Produktionsanlage in Gais, Hartholzdübel in Bereitschaft und eine produzierte AppenzellerHolz-Wand mit 360 mm Stärke

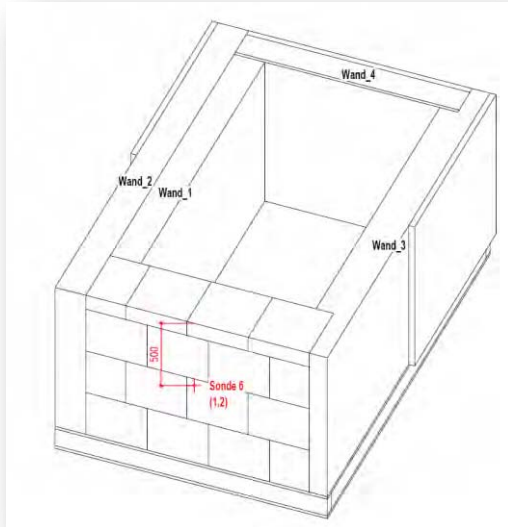
Das Wandprodukt AppenzellerHolz der Firma Nägeli setzt sich aus mehreren gekreuzten Brettlagen zusammen. Der Verbund wird durch Hartholzdübel gewährleistet. Mit zwei Papiereinlagen wird die Winddichtigkeit garantiert ohne der Wand die "Atmungseigenschaft" zu nehmen. Die Herstellung verläuft auf einer für den Produktzweck speziell neu entwickelten Dübel-Einpressanlage. Diese wurde ergänzt mit CNC-Formatierungseinheiten. Damit wird eine hohe Leistungsfähigkeit mit einer hohen Massgenauigkeit erreicht. Die Vorteile der Präzision werden bei der Montage ersichtlich.

Mit diesem Verfahren wird es möglich, massive Holzwände in der Stärke von 360 mm herzustellen und diese Holzmasse multifunktional für die Statik, die Wärmedämmung, die Energiepufferung, die Feuchtebalance, die Schalldämmung und den Brandwiderstand zu nutzen.

Wenn man diesem "emissionsfreien" System auch wohlwollend gegenüberstehen mag, so verlagern sich die Diskussionen immer wieder auf die scheinbar dürtige Wärmedämmung. Dem gegenüber stehen Aussagen von Nutzern bereits erstellter Bauten. Sie vermitteln keineswegs den Eindruck, die AppenzellerHolz-Wände seien schlecht wärmegeklämt.

TEILPROJEKT 1: KÜHLTRUHE IN GAIS

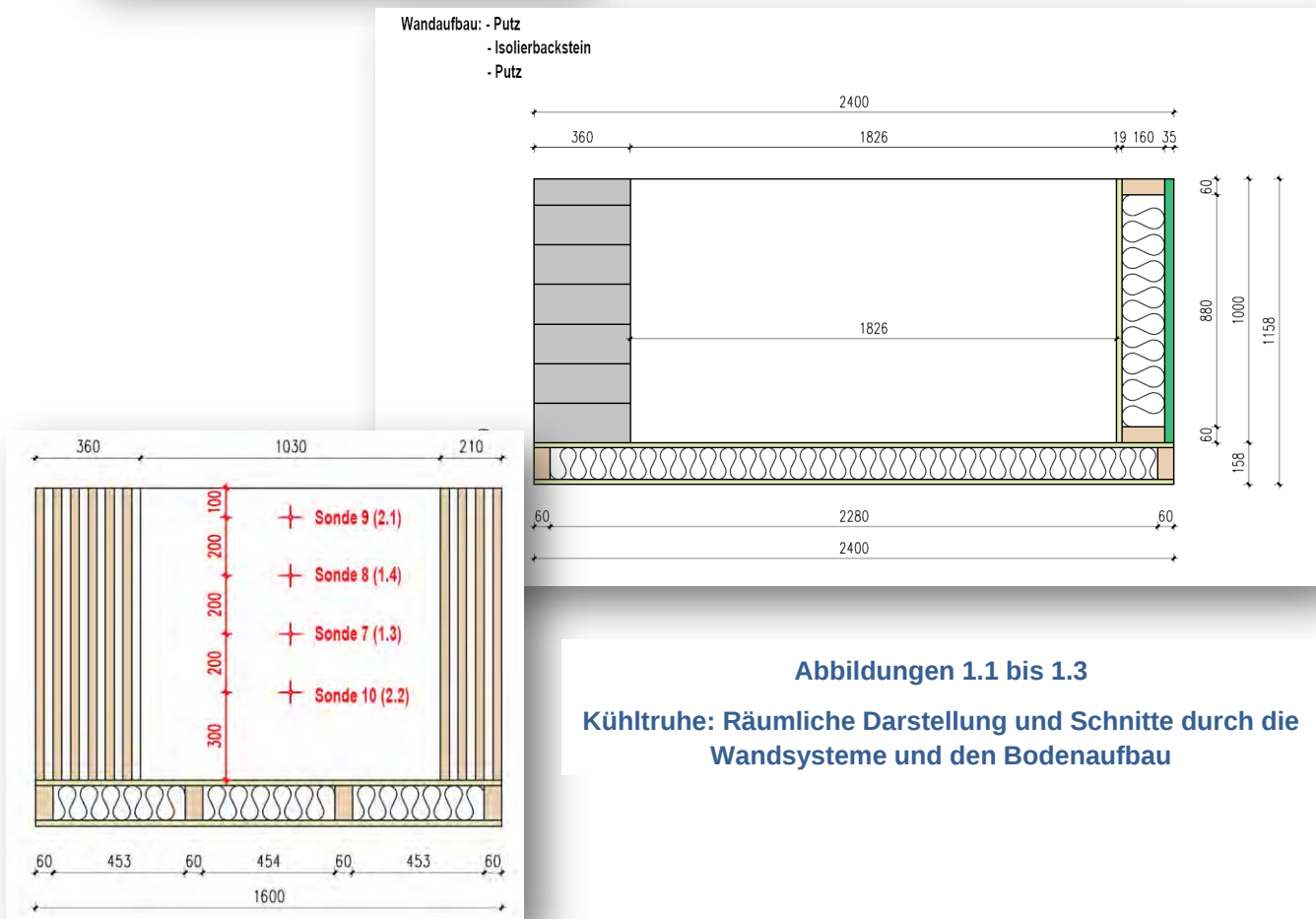
DYNAMISCHE VORUNTERSUCHUNGEN MIT EINER KÜHLTRUHE



Mit Hilfe einer ersten Versuchsanlage, basierend auf der Idee einer Kühltruhe, versuchte die Firma Nägeli der Thematik des thermodynamischen Verhaltens der Holzmassivbauweise auf die Spur zu kommen.

Verschiedene Wandaufbauten - vom massiven Thermo-backstein bis zum Ständerbau - bildeten die Wände der Truhe. Im Innern wurde kalte Luft erzeugt. Zur Simulation der dynamischen Temperaturschwankungen variierte man die Kälte in einem Bereich von -5 bis -15 Grad Celsius. Ein Zyklus erstreckte sich über 2 ½ Stunden.

Die auf dieser Seite gezeigten technischen Zeichnungen geben den Einblick in die Abmessungen der Kühltruhe und deren Wandaufbauten.



Abbildungen 1.1 bis 1.3

Kühltruhe: Räumliche Darstellung und Schnitte durch die Wandsysteme und den Bodenaufbau



Abbildungen 1.4 bis 1.6

Die Kühltruhe mit den variablen Wandsystemen

AUFBAU, KENNWERTE UND NUMMERIERUNGEN DER WANDSEGMENTE

Wand 1 Massivholzwand					
Schicht Nr.	Material	λ_R [W/(mK)]	ρ [kg/m ³]	C [Wh/(kgK)]	s [m]
1	Appenzeller - Holz	0,097	450	0,61	0,360

Wand 2 Massivholzwand mit Dämmung					
Schicht Nr.	Material	λ_R [W/(mK)]	ρ [kg/m ³]	C [Wh/(kgK)]	s [m]
1	Appenzeller - Holz	0,097	450	0,61	0,360
2	Holzweichfaserplatte	0,040	150	0,75	0,035

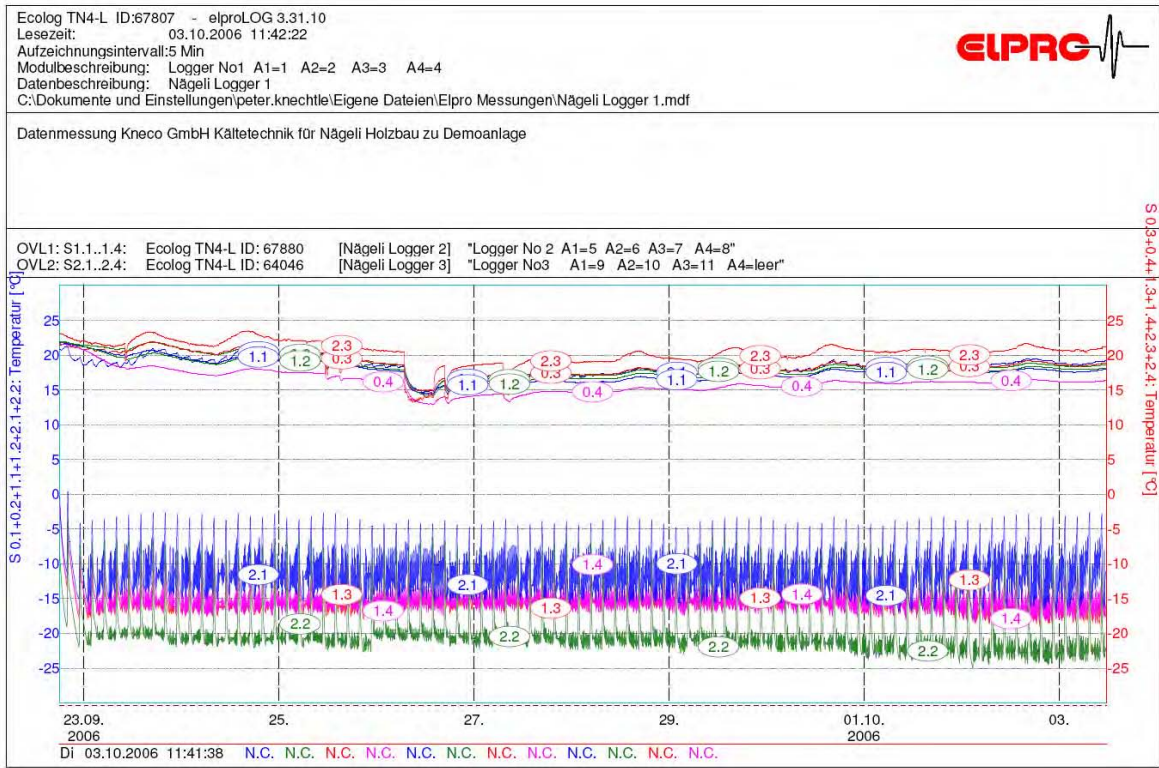
Wand 3a Massivholzwand					
Schicht Nr.	Material	λ_R [W/(mK)]	ρ [kg/m ³]	C [Wh/(kgK)]	s [m]
1	Appenzeller - Holz	0,097	450	0,61	0,210

Wand 3b Massivholzwand mit Dämmung					
Schicht Nr.	Material	λ_R [W/(mK)]	ρ [kg/m ³]	C [Wh/(kgK)]	s [m]
1	Appenzeller - Holz	0,097	450	0,58	0,210
2	Holzweichfaserplatte	0,040	150	0,75	0,035

Wand 4 Holzständerwand					
Schicht Nr.	Material	λ_R [W/(mK)]	ρ [kg/m ³]	C [Wh/(kgK)]	s [m]
1	Holz - Spanplatte	0,110	600	0,75	0,019
2	Dämmung (Gefach)	0,035	45	0,23	0,160
3	Holzweichfaserplatte	0,040	150	0,75	0,035

Wand aus Mauerwerk					
Schicht Nr.	Material	λ_R [W/(mK)]	ρ [kg/m ³]	C [Wh/(kgK)]	s [m]
1	Putz	0,700	1400	0,26	0,010
2	Isolierbackstein	0,470	1200	0,26	0,360
3	Putz	0,700	1400	0,26	0,010

MESSUNGEN UND PROTOKOLLE



Ecolog TN4-L ID:67807 - elproLOG 3.31.10
 Lesezeit: 03.10.2006 11:42:22
 Aufzeichnungsintervall: 5 Min
 Modulbeschreibung: Logger No1 A1=1 A2=2 A3=3 A4=4
 Datenbeschreibung: Nägeli Logger 1
 C:\Dokumente und Einstellungen\peter.knechtle\Eigene Dateien\Elpro Messungen\Nägeli Logger 1.mdf

Messungen Kneco GmbH Kältetechnik für Nägeli Holzbau zu Demoanlage

OVL1: S1.1..1.4: Ecolog TN4-L ID: 67880 [Nägeli Logger 2] "Logger No 2 A1=5 A2=6 A3=7 A4=8"
 OVL2: S2.1..2.4: Ecolog TN4-L ID: 64046 [Nägeli Logger 3] "Logger No3 A1=9 A2=10 A3=11 A4=leer"

	Datum	Zeit	Fühler 0.1	Fühler 0.2	Fühler 0.3	Fühler 0.4	Fühler 1.1	Fühler 1.2	Fühler 1.3
130	23.09.2006	04:46:38	+19.2 °C	+21.1 °C	+20.8 °C	+19.3 °C	+20.6 °C	+20.4 °C	-14.8 °C
131	23.09.2006	04:51:38	+19.3 °C	+21.1 °C	+20.8 °C	+19.2 °C	+20.6 °C	+20.4 °C	-15.4 °C
132	23.09.2006	04:56:38	+19.3 °C	+21.1 °C	+20.8 °C	+19.2 °C	+20.5 °C	+20.3 °C	-12.7 °C
133	23.09.2006	05:01:38	+19.3 °C	+21.1 °C	+20.8 °C	+19.1 °C	+20.5 °C	+20.3 °C	-10.5 °C
134	23.09.2006	05:06:38	+19.3 °C	+21.1 °C	+20.8 °C	+19.1 °C	+20.5 °C	+20.3 °C	-10.1 °C
135	23.09.2006	05:11:38	+19.1 °C	+21.1 °C	+20.6 °C	+19.1 °C	+20.5 °C	+20.3 °C	-12.4 °C
136	23.09.2006	05:16:38	+18.9 °C	+21.1 °C	+20.6 °C	+19.1 °C	+20.4 °C	+20.3 °C	-13.5 °C

ÜBEREINSTIMMUNG DER MESSWERTE MIT DEN BERECHNUNGEN

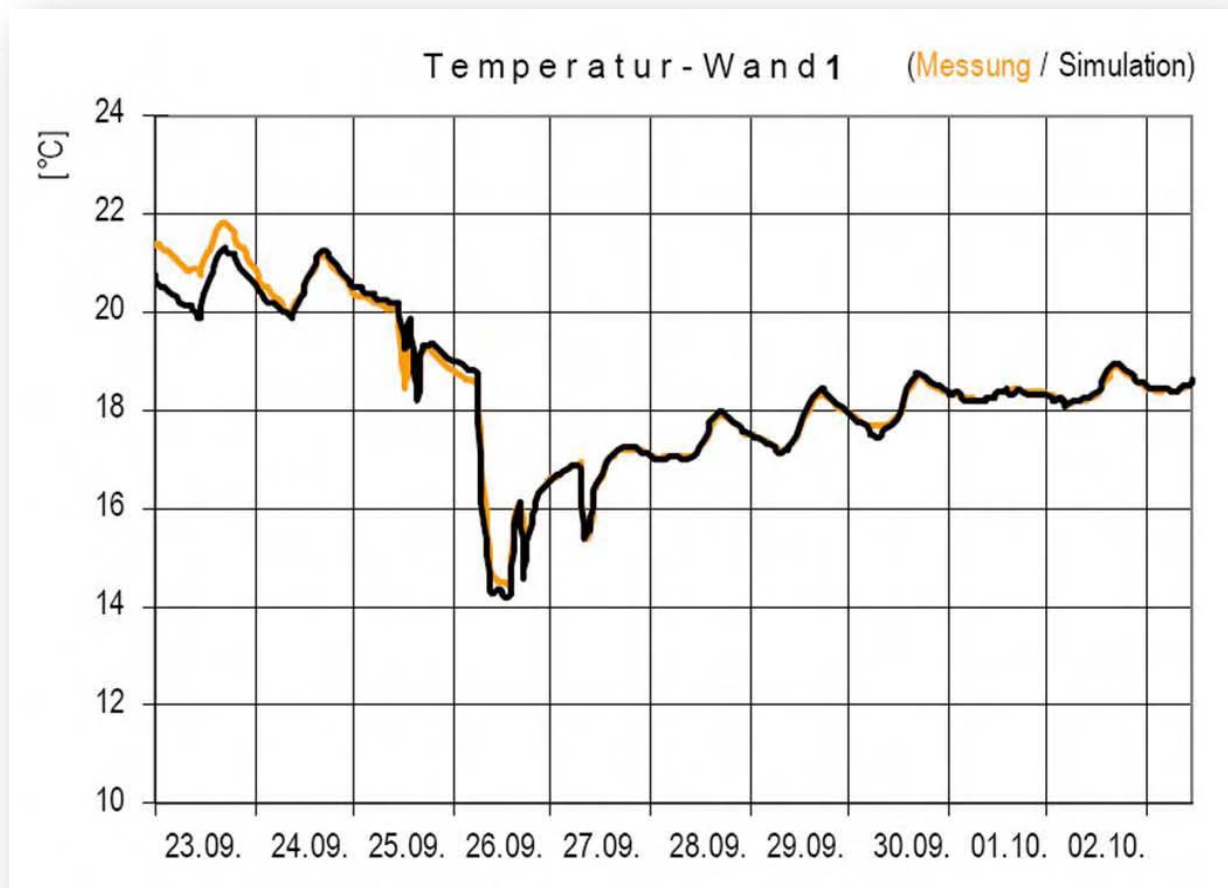


Abbildung 1.7:

Vergleich der Messkurve mit der theoretischen Kurve aus der Berechnung

In der linken Skala sind die Temperaturen der Wandoberflächen aussen aufgeführt

Diese Versuchsanlage mit der Kühltruhe ermöglichte uns, die Übereinstimmung der Messwerte mit unseren Berechnungen zu vergleichen. Die Abbildung 1.7 zeigt, wie nach einem ersten Einschwingvorgang von ca. einem Tag es zur Übereinstimmung der Messkurve mit der Rechenkurve kommt.

SIMULATION MIT ALLSEITIG GLEICHEN AUSSENBEDINGUNGEN

Da die Versuchsanlage in einer halboffenen Halle nahe beim Tor stand variierten die Aussenbedingungen betreffend Temperatur und Luftbewegung verhältnismässig stark. Dieser Tatbestand führte zu unterschiedlichen Wärmeübergängen an den Wandoberflächen.

Um zu einem einheitlicheren Vergleich der Systeme zu gelangen, entschlossen wir uns, die Berechnungen mit identischen Aussenbedingungen d.h. gleichen Wärmeübergängen zu wiederholen. Dieses Vorgehen ergab einen Einblick in die Wärmeflüsse der Systeme. In unseren Berechnungen wurde beim Mauerwerk der U-Wert eines handelsüblichen Backsteins eingesetzt. Im Versuch hingegen kam ein spezieller Isolierbackstein zum Zuge. Rechnet man mit diesen Materialkennwerten, dann liegt die rote Kurve auf der Höhe der Holzkonstruktionen.

Phasenverschiebungen lassen sich nicht feststellen. Die Konstruktionen der Wände 2 (AppenzellerHolz mit Weichfaserplatte) und 4 (Ständerkonstruktion) bieten dem Temperaturfluss den grössten Widerstand. Es sind die Wände mit den am tiefsten eingeschätzten U-Werten von 0.20 bzw 0.16. Auch dynamische Effekte sind aus den Berechnungen nicht ersichtlich.

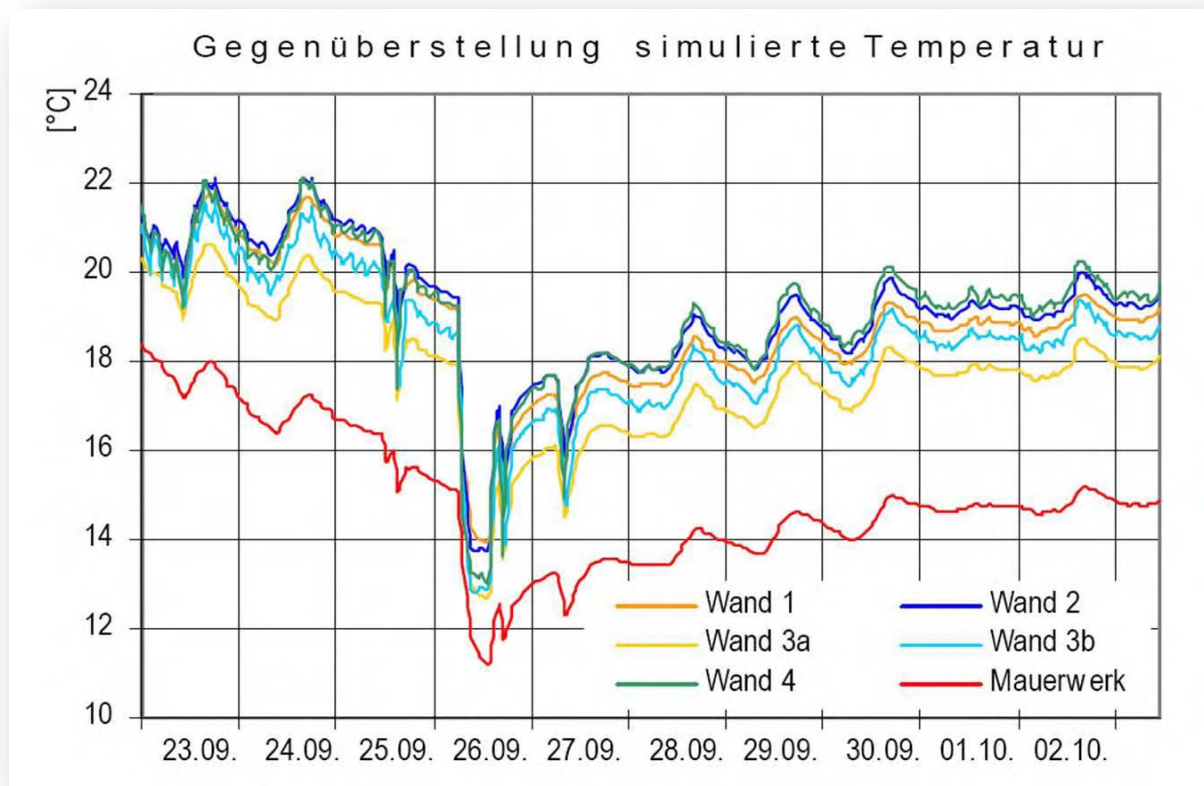


Abbildung 1.8:

Berechnete Kurven aller Wandaufbauten mit denselben Aussenbedingungen betreffend Temperatur und Wärmeübergang

ERKENNTNISSE AUS DEM VORVERSUCH MIT DER KÜHLTRUHE

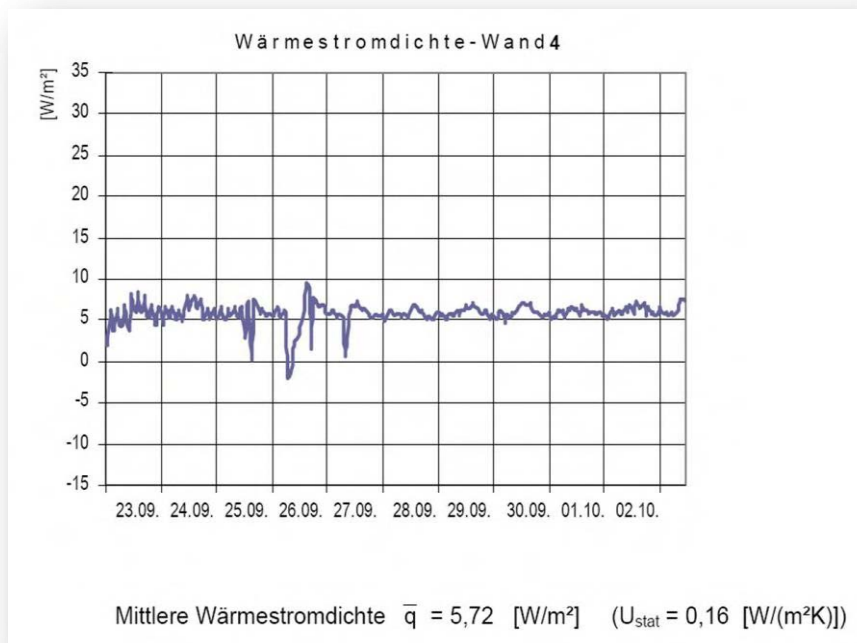
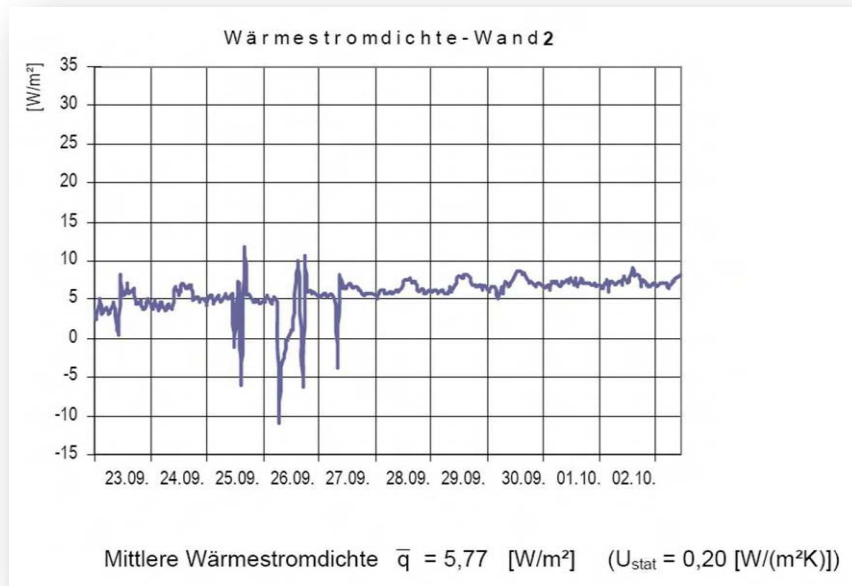
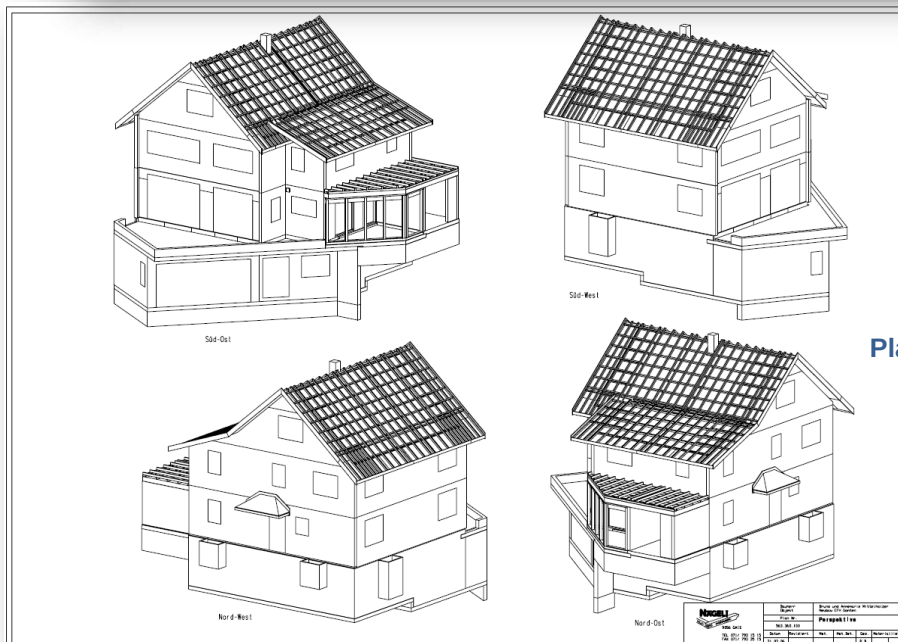


Abbildung 1.9 – 1.10:

Wärmestromdiagramme für unterschiedliche U-Werte

Einerseits können wir mit diesem Versuch nachweisen, dass der Wärmestrom trotz unterschiedlicher U_{stat} -Werte dieselbe Grösse haben kann. Andererseits war der Versuch nicht aussagekräftig genug für den Nachweis eines dynamischen Verhaltens. Die Temperaturzyklen waren zu kurz, alles spielte sich in einer zu geringen Eindringtiefe ab.

TEILPROJEKT 2: FALLSTUDIE HAUS MITTELHOLZER IN GONTEN AI



Abbildungen 2.1 und 2.2:

Plangrundlagen des Hauses Bruno Mittelholzer in Gonten

WANDAUFBAU:

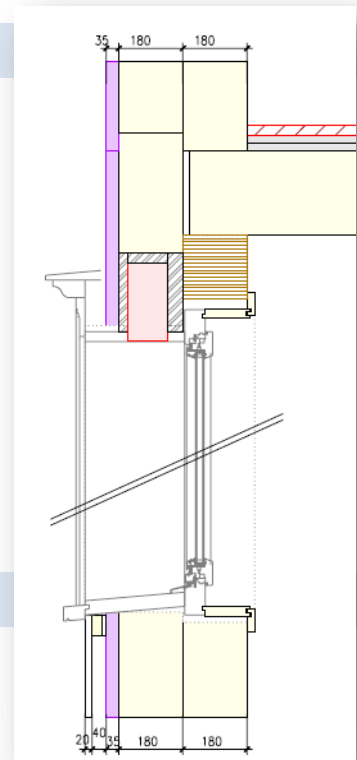
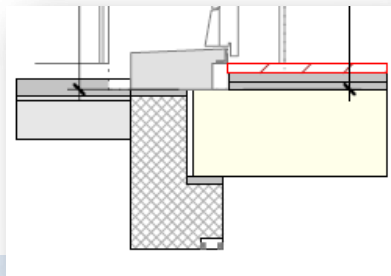
- | | |
|--------------------------|---|
| ■ AppenzellerHolZ 180 mm | $\lambda = 0.097 \text{ W/mK}$ (Messung ETHZ) |
| ■ AppenzellerHolZ 180 mm | $\lambda = 0.097 \text{ W/mK}$ |
| ■ Weichfaserplatte 35 mm | $\lambda = 0.040 \text{ W/mK}$ |
| ■ Hinterlüftung | nicht berücksichtigt |
| ■ Fassadenverkleidung | nicht berücksichtigt |
| ● Süd: gestemmter Täfer | |
| ● West: Bretterschirm | |
| ● Nord: Bretterschirm | |
| ● Ost: Bretterschirm | |

Angenommener statischer Wert $U = 0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$

DECKENAUFBAU EG, OG UND DG:

- | | |
|--------------------------|--------------------------------|
| ■ AppenzellerHolZ 240 mm | $\lambda = 0.097 \text{ W/mK}$ |
| ■ Weichfaser 44 mm | $\lambda = 0.047 \text{ W/mK}$ |
| ■ Bodenbelag Holz 20 mm | $\lambda = 0.130 \text{ W/mK}$ |

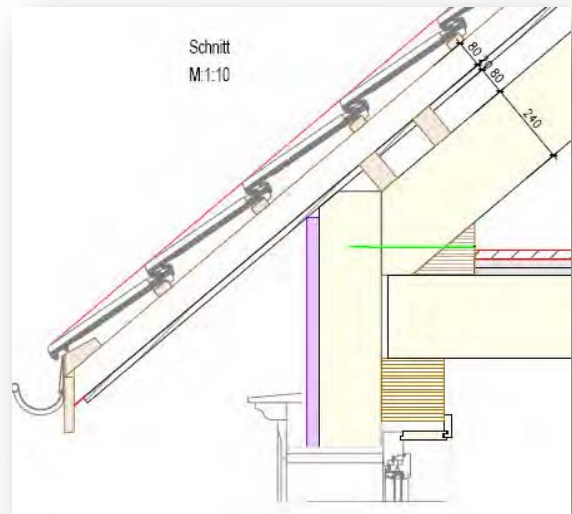
Angenommener statischer Wert $U = 0.27 \text{ W/m}^2\text{K}$



DACHAUFBAU:

- | | |
|--------------------------|--------------------------------|
| ■ AppenzellerHolZ 240 mm | $\lambda = 0.097 \text{ W/mK}$ |
| ■ Weichfaser 80 mm | $\lambda = 0.047 \text{ W/mK}$ |
| ■ Schalung 20 mm | $\lambda = 0.130 \text{ W/mK}$ |
| ■ Unterdachfolie | nicht berücksichtigt |
| ■ Konterlattung 80 mm | nicht berücksichtigt |
| ■ Dachlattung 24 mm | nicht berücksichtigt |
| ■ Ziegel | nicht berücksichtigt |

Angenommener statischer Wert $U = 0.22 \text{ W/m}^2\text{K}$



FENSTER UND VERGLASUNG WINTERGARTEN:

■ Glas mit Rahmenschwächung	$U = 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$
■ Fenster im Lichtschacht	$U = 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0$
■ Fenstertüre Holzschopf	$U = 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0$

TÜREN:

■ Haustüren	$U = 1.40 \text{ W/m}^2\text{K}$
■ Zimmertüren 40 mm Nadelholz	$U = 1.72 \text{ W/m}^2\text{K}$
■ Garagentor	$U = 2.50 \text{ W/m}^2\text{K}$

INNENWÄNDE:

■ AppenzellerHolZ 150 mm $\lambda=0.097 \text{ W/mK}$	$U = 0.58 \text{ W/m}^2\text{K}$
---	----------------------------------

BODENPLATTE UG:

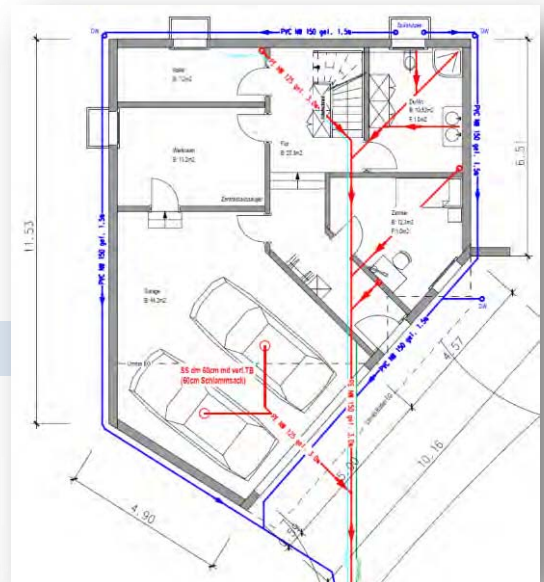
■ Magerbeton 70 mm	$\lambda = 1.40 \text{ W/mK}$
■ Isolation 100 mm	$\lambda = 0.04 \text{ W/mK}$
■ Betonplatte 200 mm	$\lambda = 2.10 \text{ W/mK}$

$$U_{\text{gesamt}} = 0.36 \text{ W/m}^2\text{K}$$

WÄNDE UG ERDBERÜHRT:

■ Perimeterisolation 80 mm	$\lambda = 0.04 \text{ W/mK}$
■ Beton 200 mm	$\lambda = 2.10 \text{ W/mK}$

$$U_{\text{gesamt}} = 0.44 \text{ W/m}^2\text{K}$$



GRUNDLAGEN FÜR DIE SIMULATIONEN

Bis vor wenigen Jahren setzte man die Prioritäten einer Simulation auf die Begrenzung des Verbrauchs der fossilen Energierohstoffe. Mit den aufkommenden Glashüllen wurde auch der sommerliche Wärmeschutz immer mehr zum Thema. Heute sollten wir darüber hinaus die von der ETH Zürich postulierte 2000 Watt-Gesellschaft beim Bauen und Nutzen der Gebäude anpeilen. Damit wird die Menge der Primärenergie zur Bereitstellung der Baustoffe eine mit zu berücksichtigende Grösse.

Als weiteres Merkmal werden die standortbezogenen Meteodaten und die Umgebungsverhältnisse betreffend Beschattung durch andere Bauten, Bäume usw. in die Betrachtungen mit aufgenommen. Die Berechnungen erfolgen über analytische Gleichungen und Gleichungssysteme. Die Zyklen pro Rechnungsgang betragen eine Stunde, dann werden die variablen Materialkennwerte angepasst. Gerechnet wird solange bis das System über alle Räume und ihre Bezüge eingeschwungen ist. Wir haben jeweils ein Jahr (8760 Stunden) simuliert. Es ist heute zusätzlich möglich, anhand von Normenwerten Aussagen über die Behaglichkeit in den Räumen zu machen. (DIN EN 7300)

AUSSENEINWIRKUNGEN (KLIMA)

Berücksichtigt werden: (Meteodaten auf den Standort bezogen)

- Lufttemperatur
- Direktstrahlung
- Globalstrahlung
- Atmosphärische Gegenstrahlung

Nicht berücksichtigt sind:

- Windauskühlung (Schutz durch die Fassadenverkleidung und Ziegel)

AUSSENGEWINNSYSTEME (TECHNISCHE ANLAGEN)

Nicht berücksichtigt sind:

- Solarkollektoren / Photovoltaik

INNENWIRKUNGEN (HEIZEN, INNERE WÄRMEQUELLEN, LUFTWECHSEL)

Berücksichtigt sind:

- Heizenergie für das Halten der vorgegebenen Raumtemperatur
- Energieaufwand zur Lufterwärmung der Lüftung ohne Wärmerückgewinnung

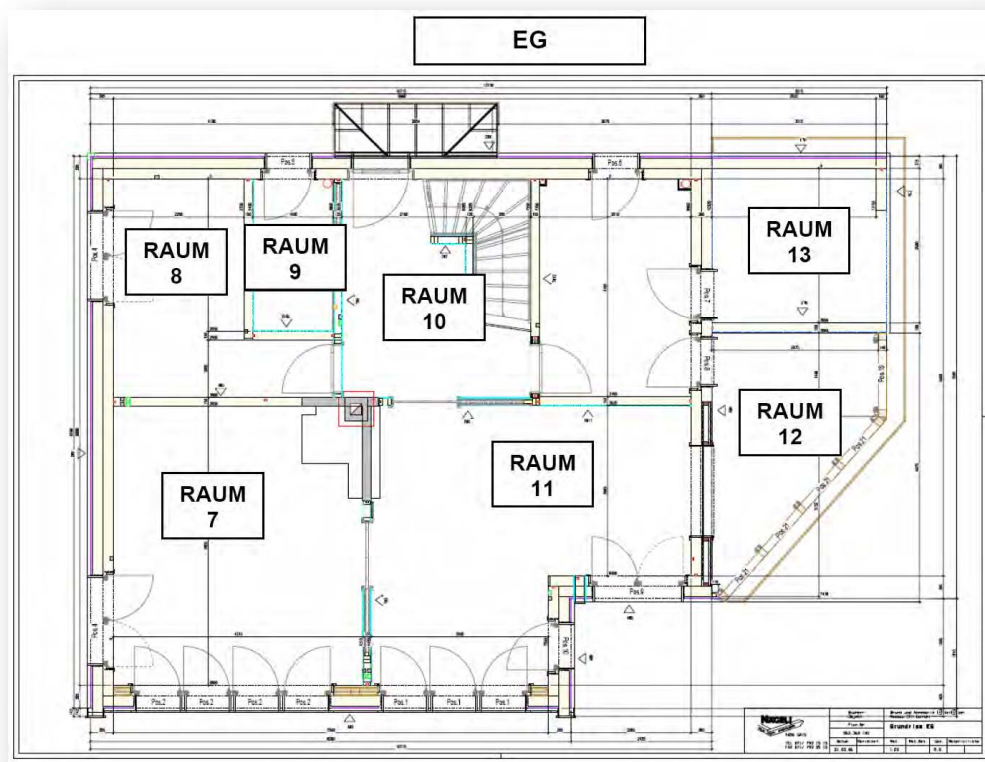
Erst in einem weiteren Berechnungsgang sind dazu genommen:

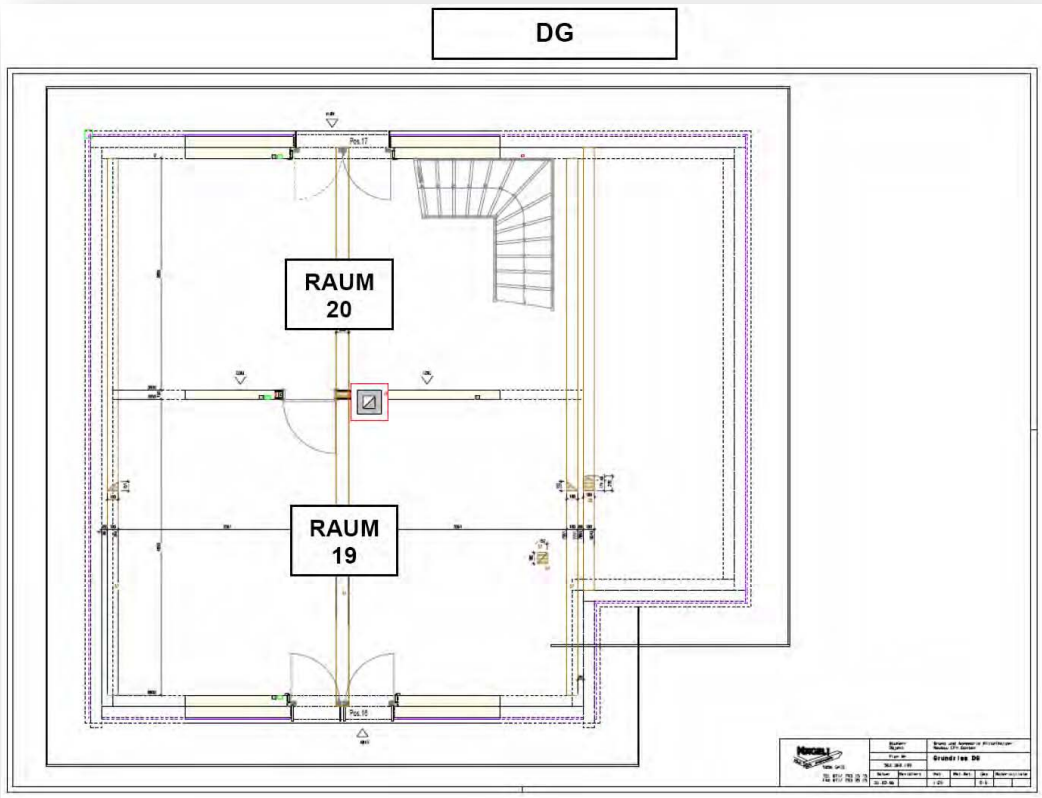
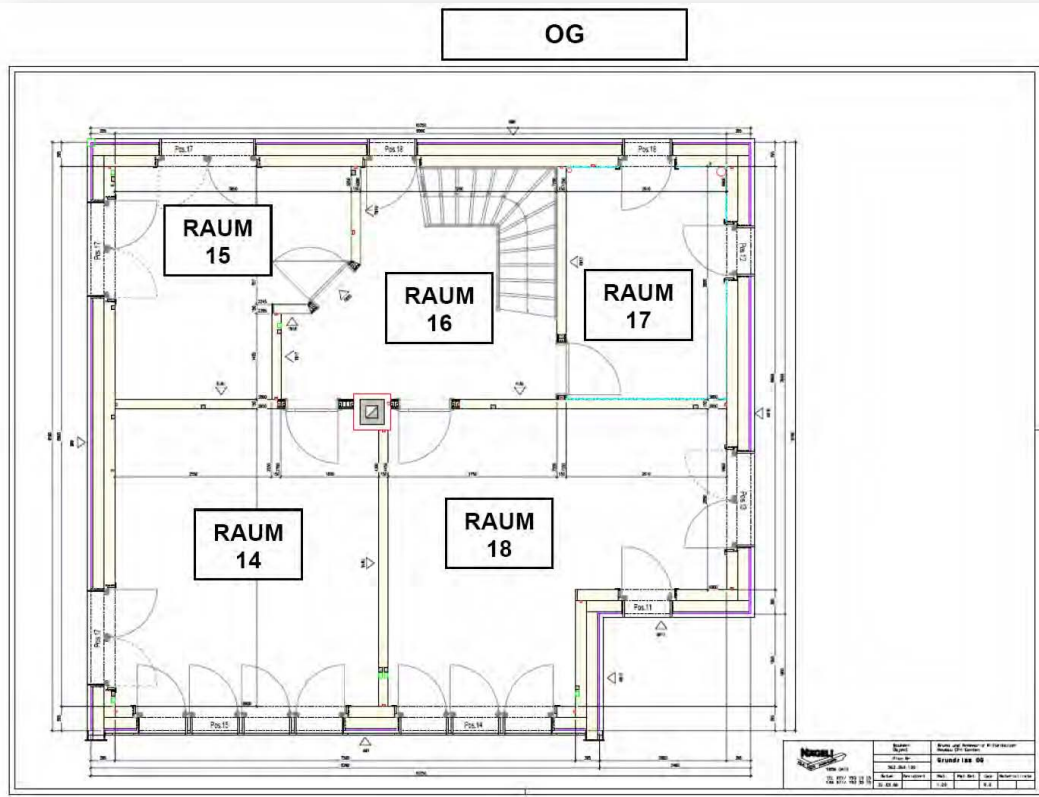
- Innere Wärmequellen, Wärmerückgewinnung der Lüftung

ABSTIMMUNGSSTEUERUNGEN (NUTZEREINGRIFFE UND AUTOMATION)

Berücksichtigt sind:

- Stockwerksausgleiche über die Treppenhäuser UG-EG-OG, getrennt ist das DG





ERMITTLUNG DER JAHRES-HEIZENERGIE ÜBER EIN MITTLERES KLIMAJAHR.

ANNAHMEN AUSSENTEMPERATUREN

Die Mitteltemperatur beträgt in Gonten für das mittlere Jahr 7.02 Grad Celsius. Die tiefste Temperatur liegt in diesem Jahr bei -12.1 Grad, der maximale Wert wurde mit 26.3 Grad gemessen. Zur Ermittlung von Überhitzungszuständen haben wir auch ein warmes Jahr mit einer Mitteltemperatur von 9.3 Grad simuliert. Da es nicht zu Überhitzungen gekommen ist, verzichten wir in diesem Bericht auf die Darstellung der Resultate. Sie können aber jederzeit bei uns abgerufen werden.

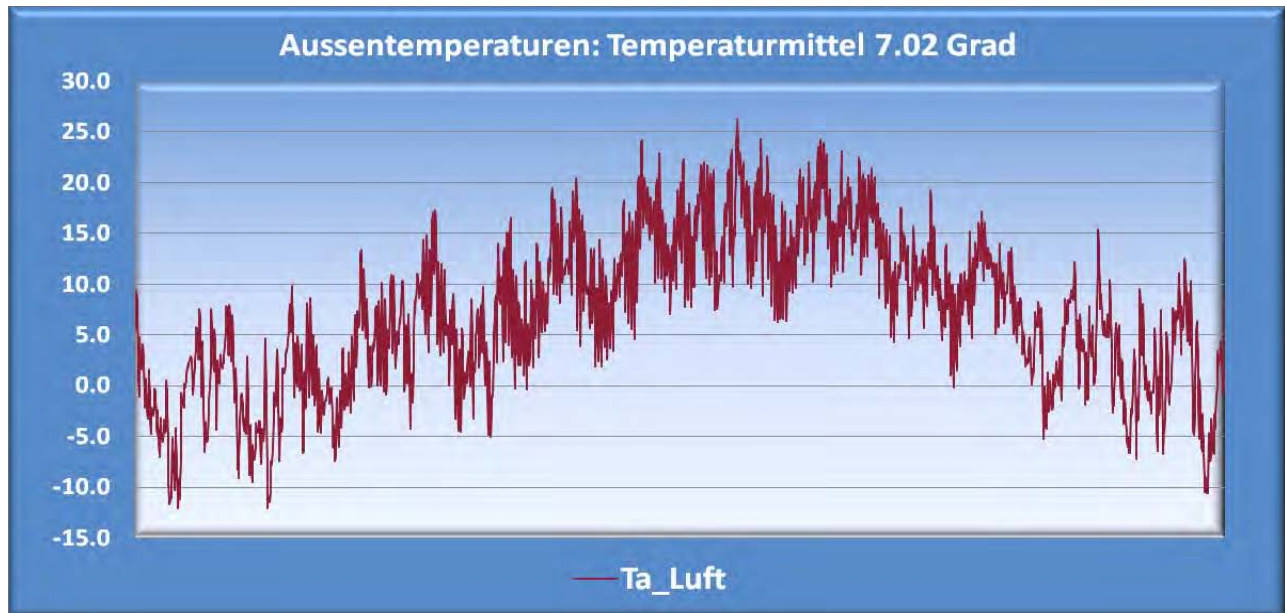


Tabelle 2.3:

Der Verlauf der Jahrestemperatur für ein Mitteljahr in Gonten, Meereshöhe 920 müM

ANNAHMEN HEIZUNG

Im UG wird der Raum 4 - Eingangsbereich - auf 18 Grad geheizt. Die Räume 5 und 6 sind mit einer Heiztemperatur von 21 Grad in die Simulation eingeführt worden. Die Räume 1 bis 3 erhalten keine Heizenergie.

Im EG sind die Räume 7 bis 11 auf 21 Grad geheizt. Der Wintergarten mit der Nummer 12 bleibt in der Berechnung ungeheizt. Der Raum 13 ist ein nach aussen offener Holzschopf.

Im OG sind alle Räume von 14 bis 18 auf 21 Grad temperiert.

Im DG bleiben die Räume 19 und 20 kalt.

VERGLEICHE APPENZELLERHOLZ MIT DER STÄNDERKONSTRUKTION

Mit den obigen Annahmen wurden zwei Fälle von Wand- und Dachausführungen gerechnet.

Fall 1: Ausführung AppenzellerHolz

Fall 2: Ausführung Ständerkonstruktion (OSB 19mm - Mineralfaser 140 mm - OSB 19mm)

Die statischen U-Werte der beiden Konstruktionen wurden gleichwertig mit $0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$ in die Rechnung eingeführt.

Der Systemaufbau der drei Zwischendecken UG-EG, EG-OG, OG-DG wurde nicht variiert.

Bei der Lüftung haben wir mit 0.1 Luftwechseln pro Stunde gerechnet. Das sind 2.4 Luftwechsel des Raumluftvolumens pro Tag. Diese Annahmen liegen volumenmässig unterhalb von Normenwerten oder Festlegungen im Minergiestandard, sie sind aber nach unserem Ermessen realitätsnah.

Wir haben für alle Räume (auch ungeheizte) diese Luftwechsel gerechnet. Für die Lüftungsverluste wird die Aussenluft auf dem Niveau der Aussenlufttemperatur übernommen und auf das Niveau der Innenluft geführt. Eine Wärmerückgewinnung ist bei den ersten Berechnungen nicht in Erwägung gezogen worden. Das entspricht etwa einer unkontrollierten Fensterlüftung.

Mit weiteren Berechnungsgängen haben wir eine Wärmerückgewinnung in die Simulation aufgenommen. Zusammen mit wärmegeämmten Fensterladen, die nachts geschlossen werden, konnten wir ermitteln, dass das Haus Mittelholzer den Minergie-Plus-Standard übertreffen kann.



Abbildung 2.4:

Idee eines hochziehbaren Appenzellerladens ev. mit einem Latentspeicher. Damit kann nachts das Haus über das Fenster geheizt werden.

BERECHNUNG DER HEIZENERGIE FÜR DIE EINZELNEN RÄUME

Gemäss Aussage von Bruno Mittelholzer wurden im Winter 2006-2007 7 Ster Brennholz im Kachelofen „verheizt“. In den Nasszellen waren noch Wärmestrahler eingesetzt. Mit unseren Berechnungen, die etwas von diesem Heizsystem abweichen sind wir auf ähnliche Grössenordnungen an Heizenergiebedarf gekommen.

Die nachfolgende Grafik zeigt nun den Heizaufwand für die Monate Januar bis Mai und Oktober bis Dezember. Gerechnet wurden die beiden Konstruktionsarten AppenzellerHolZ und Ständer jeweils raumbezogen von 1-20. (UG Räume 1-6, EG Räume 7-13, OG Räume 14-18, DG Räume 19-20)

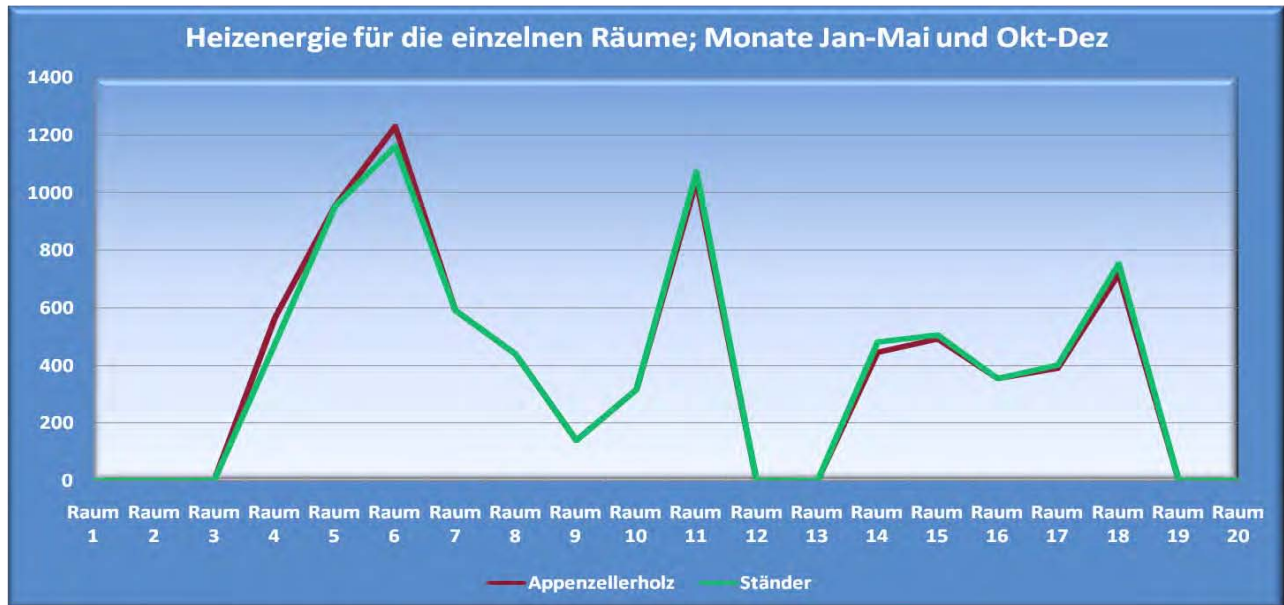


Tabelle 2.5:

Im Diagramm sind links die kWh aufgeführt, unten die Räume. Die rote Kurve ist dem AppenzellerHolZ zugeordnet, die grüne Kurve beschreibt die Ständerkonstruktion

Betrachten wir nun die Bilanzen über die Stockwerke und das Total, dann können wir erste Fakten im Unterschied einer Massivholzkonstruktion zu einer mit leichter Mineralwolle gedämmten Ständerkonstruktion ableiten.

Total in KWh	UG	in %	EG	in %	OG	in %	Total	in %
AppenzellerHolZ	2750	100.0%	2532	100.0%	2402	100.0%	7683	100.0%
Ständer	2593	94.3%	2562	101.2%	2498	104.0%	7654	99.6%

Tabelle 2.6:

Auflistung der Summen des Heizenergieeintrages während der Heizperiode auf die Stockwerke verteilt und das Total

Aus der Tabelle 2.6 kann man nun folgern:

Die Massivholzkonstruktion ist im Vergleich zur Ständerkonstruktion über alle Geschosse (betoniertes Untergeschoss) im Heizenergieverbrauch dem Ständerbau gleichgestellt.

Betrachten wir aber das EG und OG ohne UG, dann sehen wir Vorteile mit AppenzellerHolz gegenüber der Ständerkonstruktion. Im OG sind das bereits 4 %, die wir einsparen können.

Die Kompensation der Gesamtbilanz wird durch das UG verursacht. Wir müssen dort bei einer darüber liegenden Ständerkonstruktion im Vergleich zum AppenzellerHolz 5.7 % weniger Heizwärme einbringen.

Um diesen Phänomen auf die Spur zu kommen betrachten wir nun zuerst die Verteilung der Energieeinträge und der Energieverluste in den einzelnen Geschossen und in der Summe.

VERTEILUNG DER ENERGIE-EINTRÄGE UND DER ENERGIE-VERLUSTE

Ein Gebäude verliert Energie durch Transmission der opaken Bauteile, durch Verluste der Fenster vorallem nachts und durch die Lüftung, indem die Temperatur der Aussenluft auf die Innenluft gebracht werden muss. Je nach Konstruktion, Ausrichtung und Benutzerverhalten sind die Anteile unterschiedlich gross.

Energieeinträge erhalten wir von der Aussenstrahlung, der Heizung und den inneren Quellenergien. In unseren Betrachtungen ist jedoch die innere Quellenergie vorerst noch nicht berücksichtigt.

Mit den geschossweisen Übersichten über die zwei Energieeinträge (Heizung und Strahlung) und die drei Energieverlustquellen (Transmission, Fenster und Lüftung) können wir uns am Haus Mittelholzer ein Bild machen, wo und wie etwas abläuft.

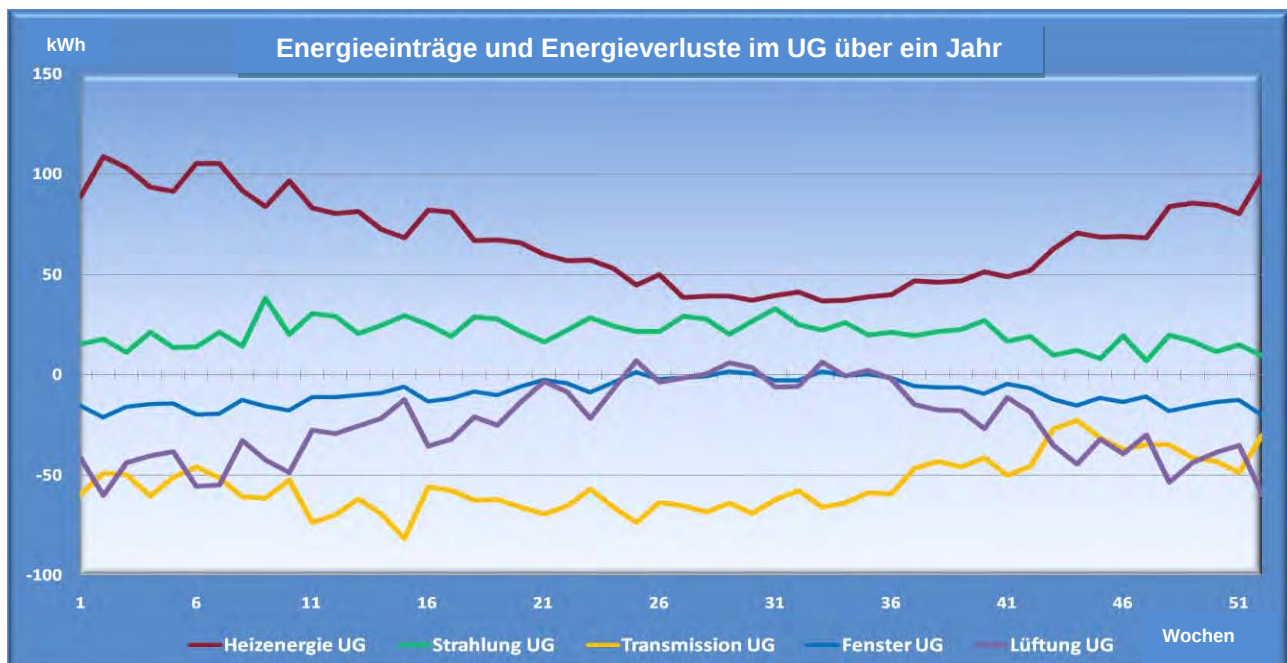


Tabelle 2.7:

Anteile der Energieeinträge und Energieverluste in kWh im UG. Geheizt sind der Raum 4 auf 18 Grad, und die Räume 5 und 6 auf 21 Grad. Die Transmissionsverluste (gelb) sind sehr hoch, die Fensterverluste infolge kleiner Fensteranteile gering. Auch haben wir kaum Strahlungsgewinne.

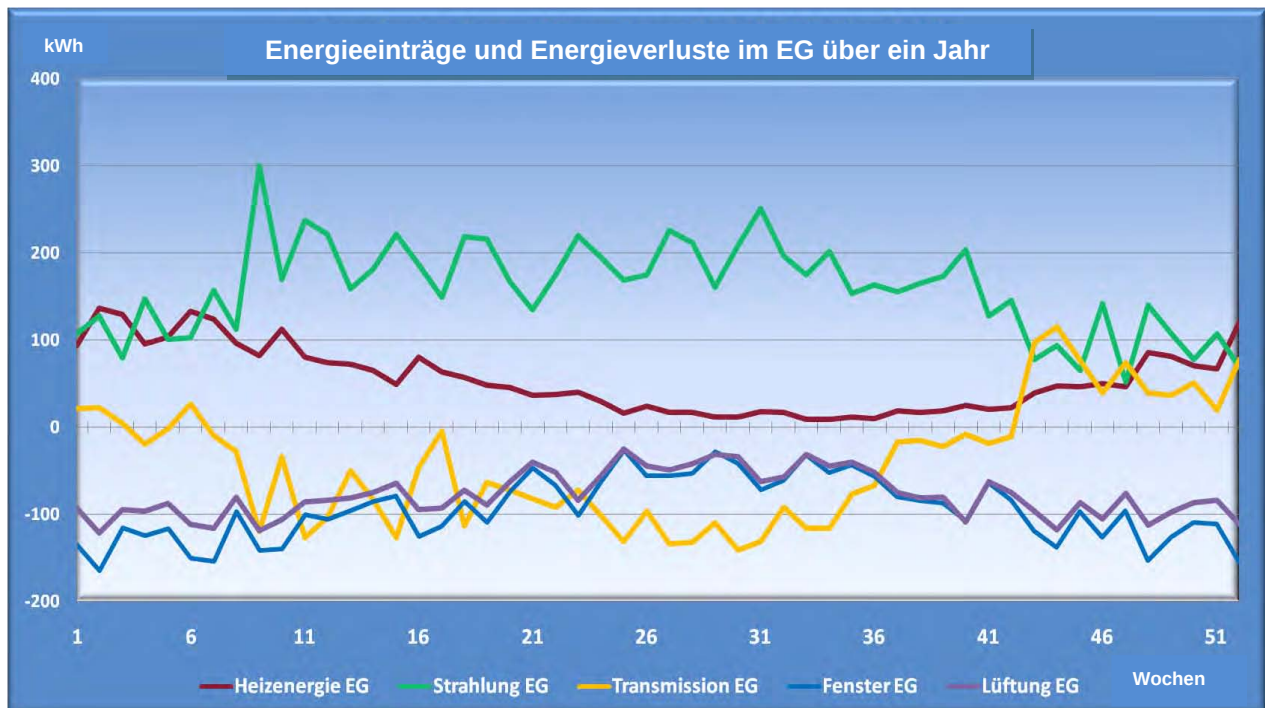


Tabelle 2.8:

Hier nun die Kurven für das Erdgeschoss in derselben Darstellung wie in Tabelle 2.7. Die Strahlungsgewinne sind hoch und kommen auch aus dem nicht geheizten Wintergarten. Die Transmissionsverluste durch die AppenzellerHolZ-Wand fallen nur wenig ins Gewicht.

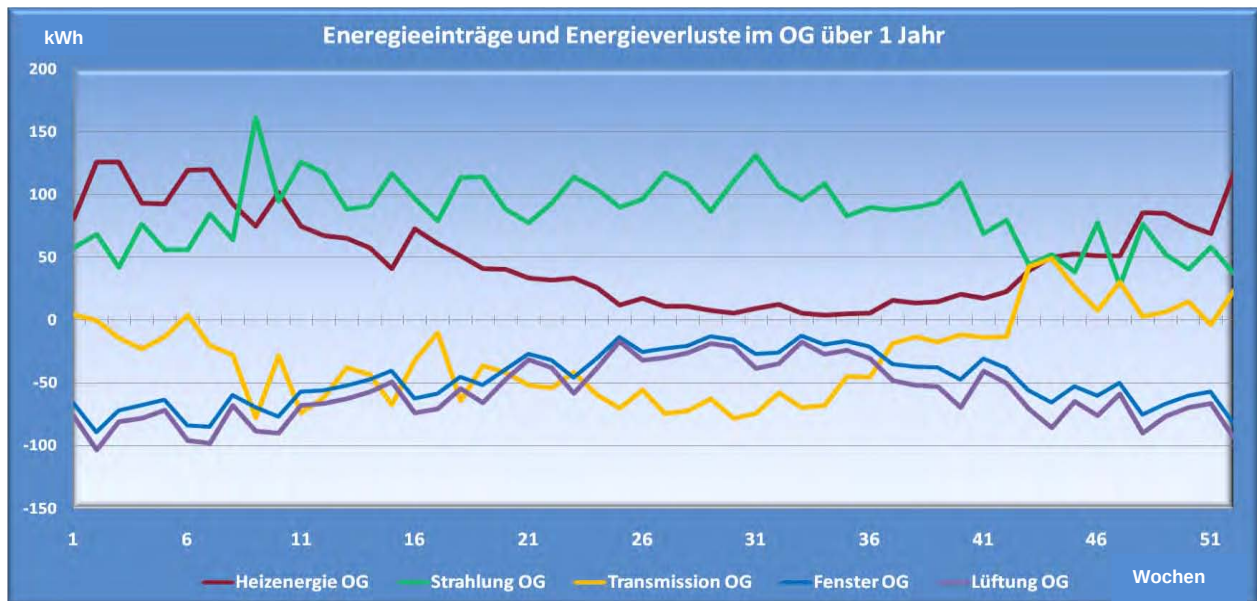


Tabelle 2.9:

Im Obergeschoss haben wir ähnliche Kurven wie im Erdgeschoss, die Strahlungsgewinne sind infolge kleinerer Fensterflächen geringer, die Transmissionsverluste ebenfalls moderat.

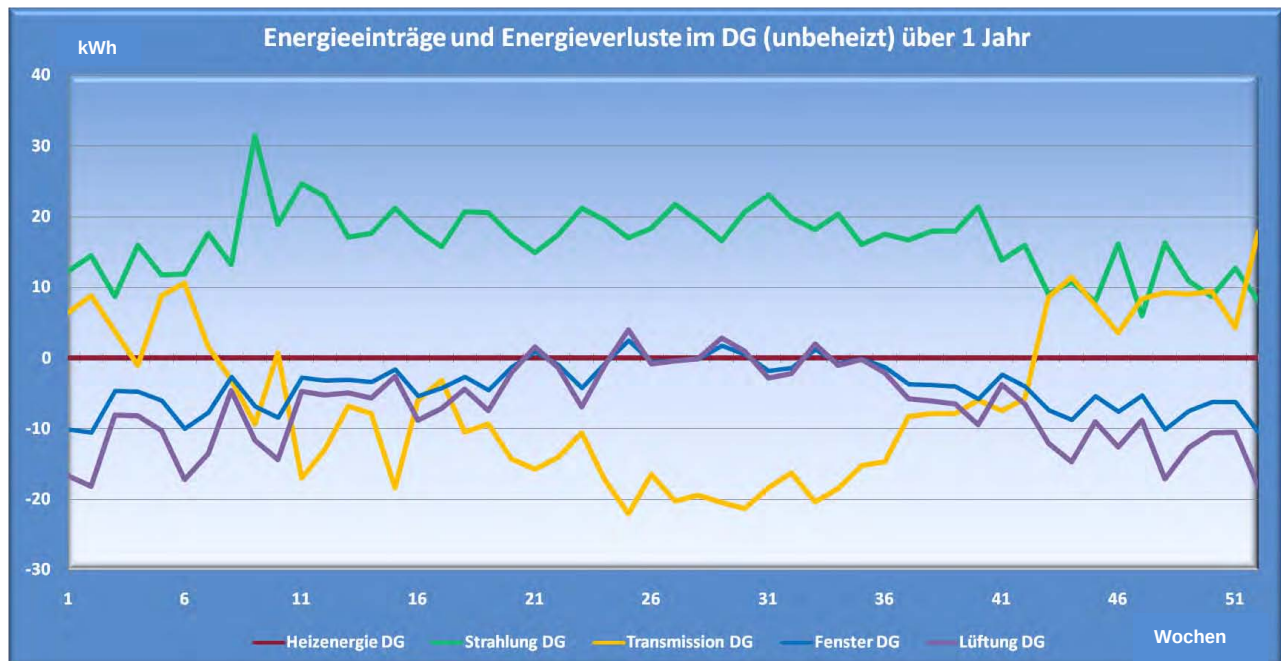


Tabelle 2.10:

Das nicht geheizte Obergeschoss hat selbstverständlich auch Verluste und Gewinne. Sie sind aber nicht sehr entscheidend für die Gesamtenergiebilanz des ganzen Hauses.

	Q Heizung	Q Strahlung	Transmissions- Verluste	Fenster- Verluste	Lüftungs- Verluste
UG	3495 kWh 76.25%	1084 kWh 23.65%	-2856 kWh -62.30 %	-4685 kWh -10.22 %	-1259 kWh -27.47%
EG	2834 kWh 25.66 %	8265 kWh 74.85 %	-2087 kWh -18.90 %	-4918 kWh -44.53 %	- 4038 kWh -36.57 %
OG	2620 kWh 37.37 %	4437 kWh 63.28 %	-1527 kWh -21.78 %	-2470 kWh -35.23 %	-3014 kWh -42.99 %
DG	0000 kWh 0.00 %	862 kWh 100.00 %	-313 kWh -35.93 %	-209 kWh -24.08	349 kWh -39.99 %
Total UG-DG	8949 kWh 37.92%	14'648' kWh 62.08%	-6'782 kWh -28.74%	-8'066 kWh -34.18%	-8'660 kWh -36.70%

Tabelle 2.11:

Zusammenstellung der Energieeinträge und Energieverluste aufgeteilt auf die Stockwerke

In der Tabelle 2.11. ist ersichtlich wie sich die Einträge und Verluste aufteilen. In der Holzkonstruktion ab EG können wir den geringen Anteil der Transmissionsverluste von ca. 20% herauslesen. Das bedeutet, dass die AppenzellerHolZ-Hülle bereits auf einem hohen Standard ist und eine weitere Verbesserung beim U-Wert kaum mehr etwas bringen würde. Das Untergeschoss mit den 3 geheizten Räumen 4 bis 6 benötigt überdurchschnittlich viel Heizenergie. Der Anteil der Transmissionsverluste fällt hier mit 62 % im Gegensatz zu den Obergeschossen stark ins Gewicht. Aus dieser Konstellation können wir uns erklären, wieso hier die Auswirkungen einer darüber gebauten Massivholzkonstruktion auf die Transmissionsverluste sich nicht wegweisend auswirken können.

WO STEHEN WIR IM VERGLEICH MIT DEN HEUTIGEN STANDARDS?

Es ist opportun in diesem Gebäude, den Heizenergieverbrauch auf die Geschosse aufzuteilen und damit die Unterschiede der Konstruktionsarten zu visualisieren. In unserer Rechnung haben wir im Hinblick auf spätere Behaglichkeitsbetrachtungen die Heizung auf 21 Grad Lufttemperatur gefahren. Bei allen Standards geht man von 20 Grad Lufttemperatur in den Räumen aus. Der Mehrverbrauch an Heizenergie zur Erzeugung einer Zimmertemperatur von 21 statt 20 Grad liegt bei 7-8%.

Im Minergiestandard werden 45 kWh/m²a (Heizung und Warmwasser) gefordert. Wenn wir die Energie für das Warmwasser abziehen, dann sind es noch **31 kWh/m²a** (nur Heizung). In diesem Wert ist die innere Quellenergie (Wärmequellen Menschen, Geräte etc.) eingerechnet.

Geheizte Flächen (EBF)	Heiztemperatur 21 Grad	Heiztemperatur 20 Grad	Heiztemperatur 20 Grad mit innerer Quellenergie
UG = 44 m ²	62.5 kWh/m ² a	58.4 kWh/m ² a	ca. 53 kWh/m ² a
EG = 91 m ²	26.9 kWh/m ² a	25.1 kWh/m ² a	ca. 21 kWh/m ² a
OG = 83 m ²	28.9 kWh/m ² a	27.0 kWh/m ² a	ca. 22 kWh/m ² a
Total UG-OG = 218 m ²	35.2 kWh/m ² a	32.9 kWh/m ² a	ca. 28 kWh/m ² a
Minergiestandard - WW			31 kWh/m ² a

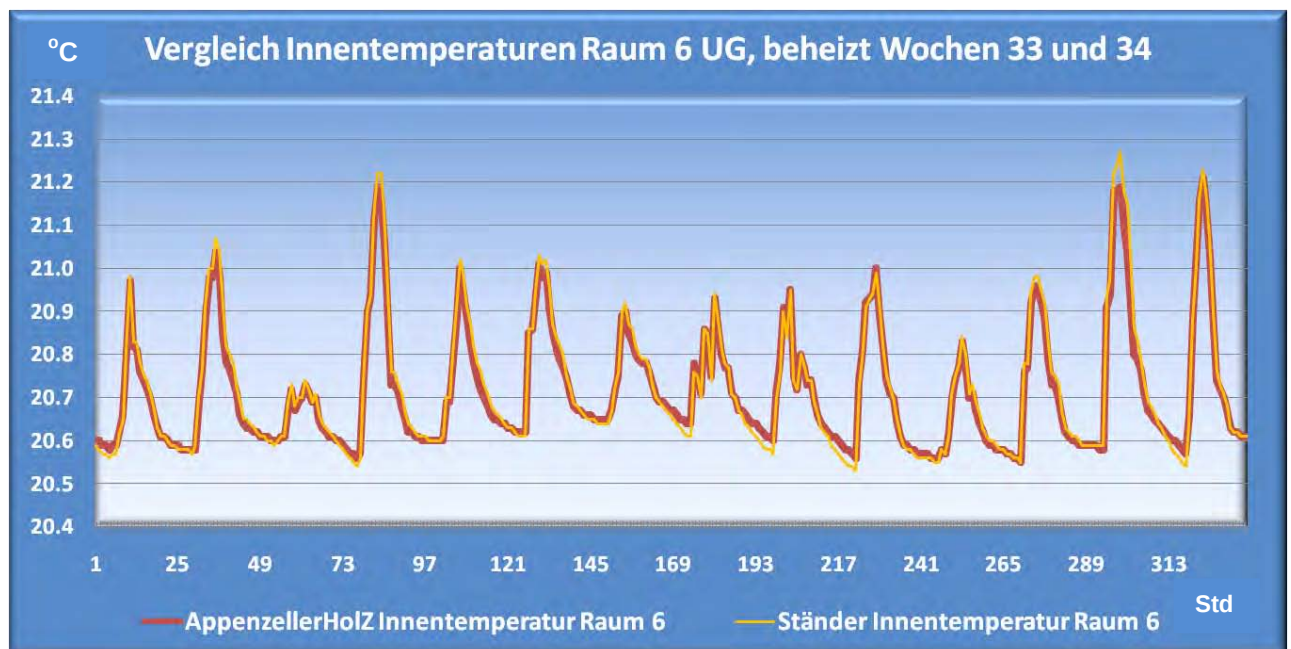
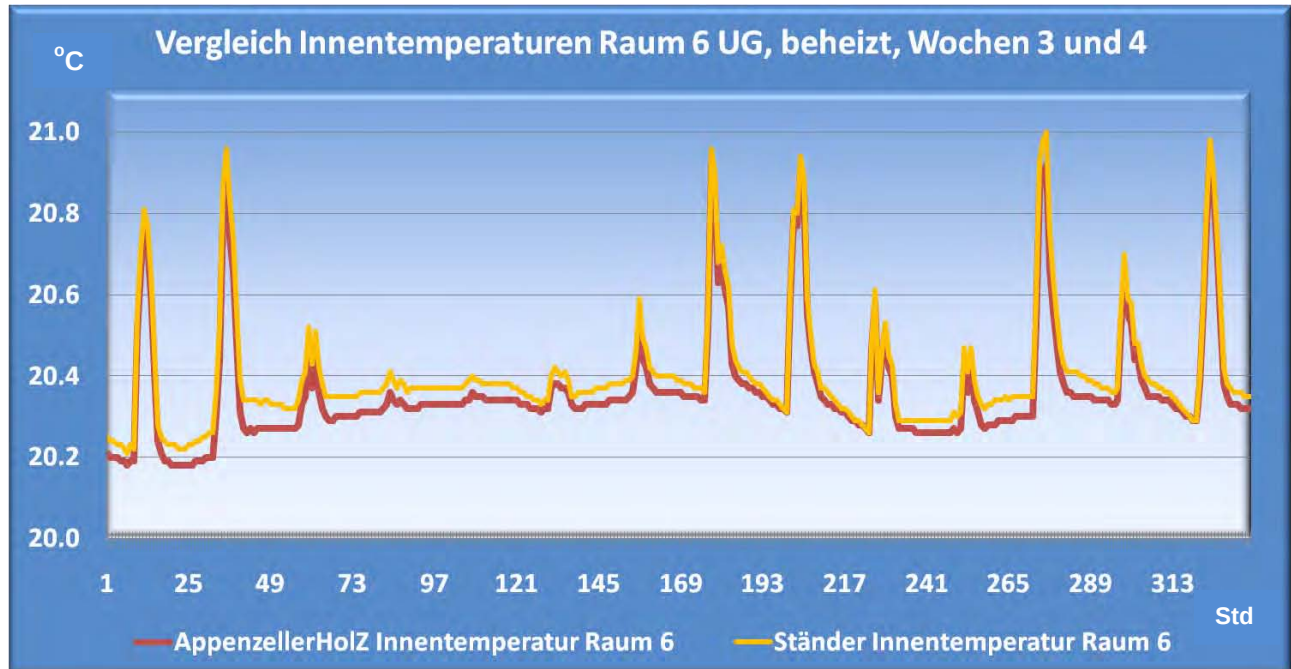
Tabelle 2.12:

Auf die Energiebezugsflächen herunter gerechneter Heizenergieverbrauch und Vergleich mit dem Minergiestandard

Das Haus ist, so wie es jetzt gebaut wurde, bei einer Heiztemperatur von 20 Grad unterhalb des Minergiestandards. Dabei wird mit einer natürlichen Fensterlüftung gerechnet ohne den üblichen Wärmehaushalt einer technischen Lüftung. Mit einem Wirkungsgrad von 0.8 könnten die Lüftungsverluste abzüglich der Lüftung über Undichtigkeiten um einen Faktor von ca. 0.7 vermindert werden. Mit geringeren Aufbesserungen im Bereich der Holzkonstruktion ab OG wie z.B. einen besseren U-Wert im Fensterglas könnte man den Passivhaus- bzw. Minergiestandard erreichen. Der scheinbar hohe U-Wert der Wand, mit 0.25 W/m²K gerechnet, reicht somit mindestens für den Minergiestandard aus.

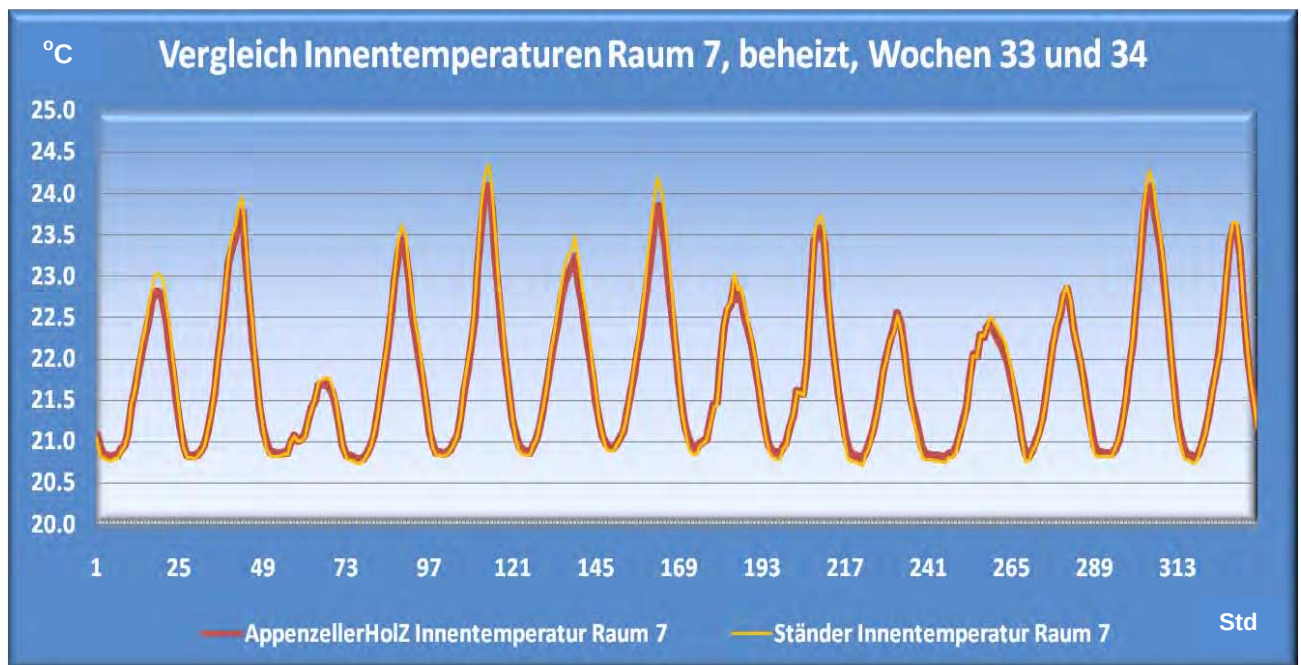
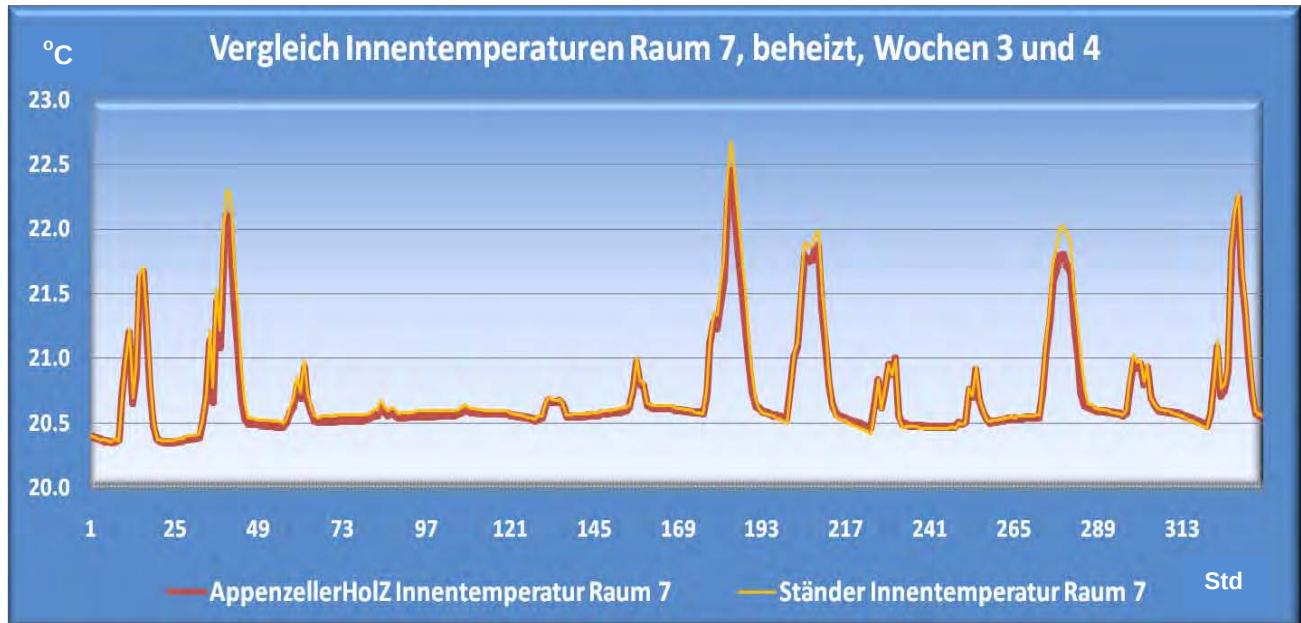
KONSTRUKTIONSVERGLEICHE APPENZELLERHOLZ - STÄNDERKONSTRUKTION

RAUM 6 IM UG – WOCHEN 3 UND 4 / WINTER – WOCHEN 33 UND 34 / SOMMER



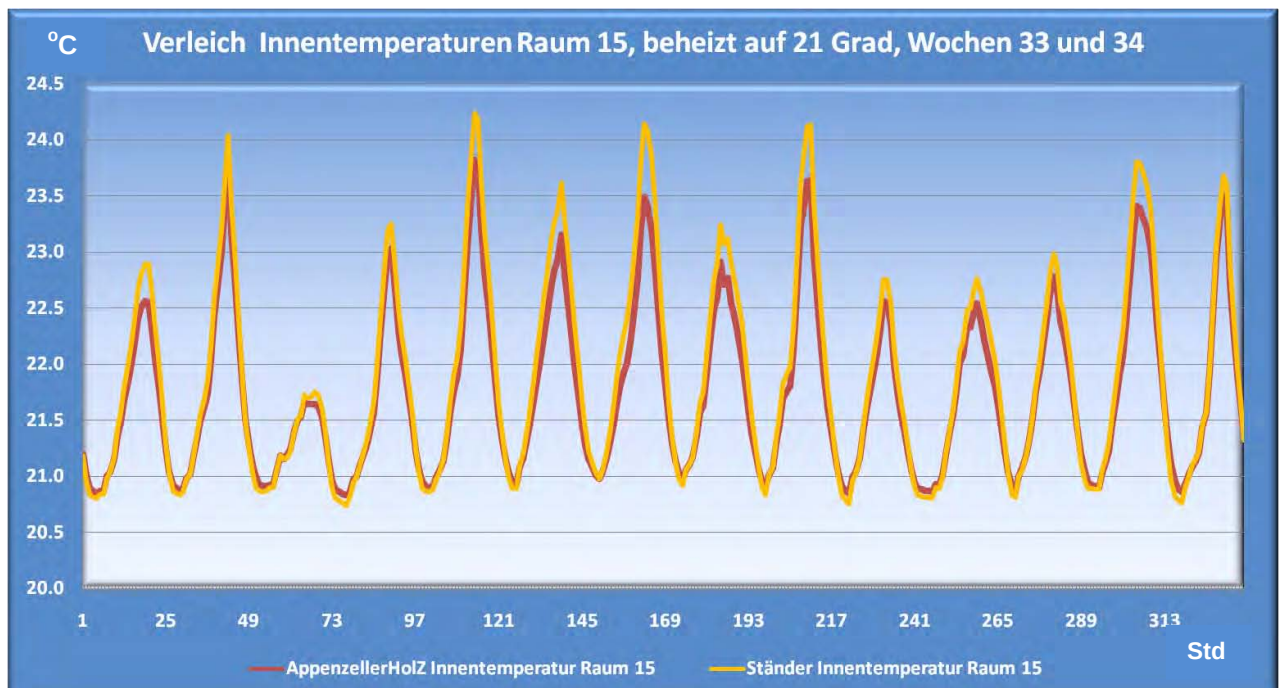
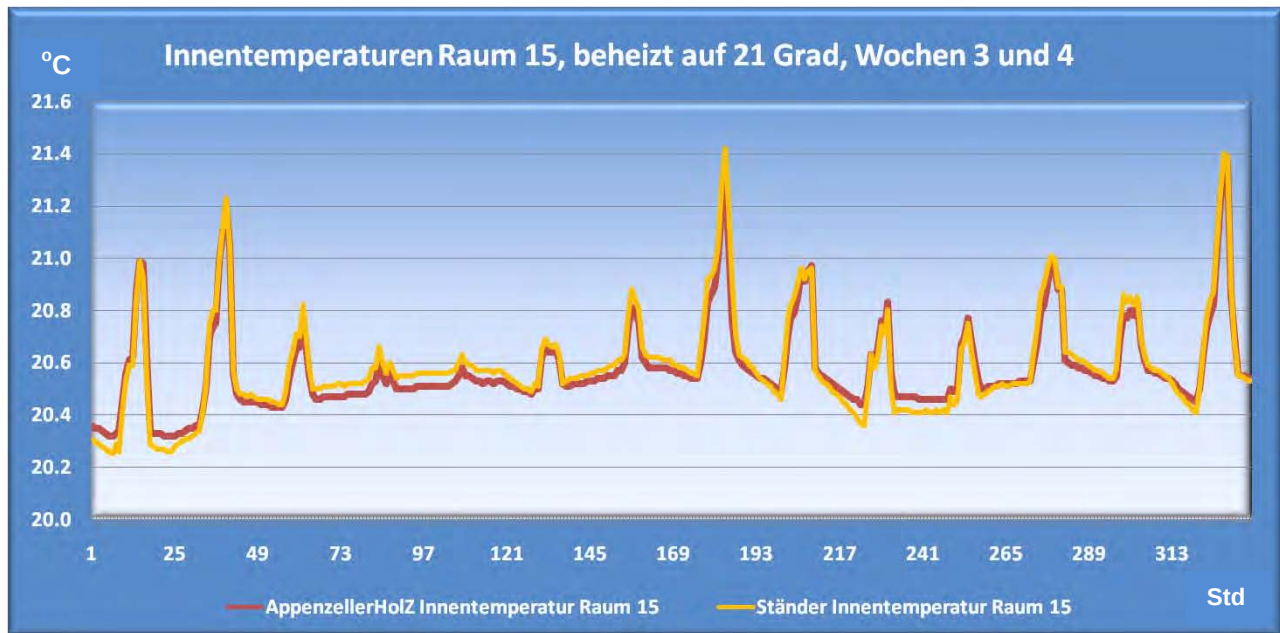
Unterschiede sind hier zugunsten der Ständerkonstruktion in moderatem Masse ersichtlich. Im UG ist lediglich die Decke in Holz ausgeführt, Boden und Wände sind in Beton. Die Isolation ist mit 80 mm Styropor angenommen. Die Decken sind in unserer Rechnung für den Vergleich der beiden Konstruktionssysteme nicht verändert worden.

RAUM 7 IM OG – WOCHEN 3 UND 4 / WINTER – WOCHEN 33 UND 34 / SOMMER



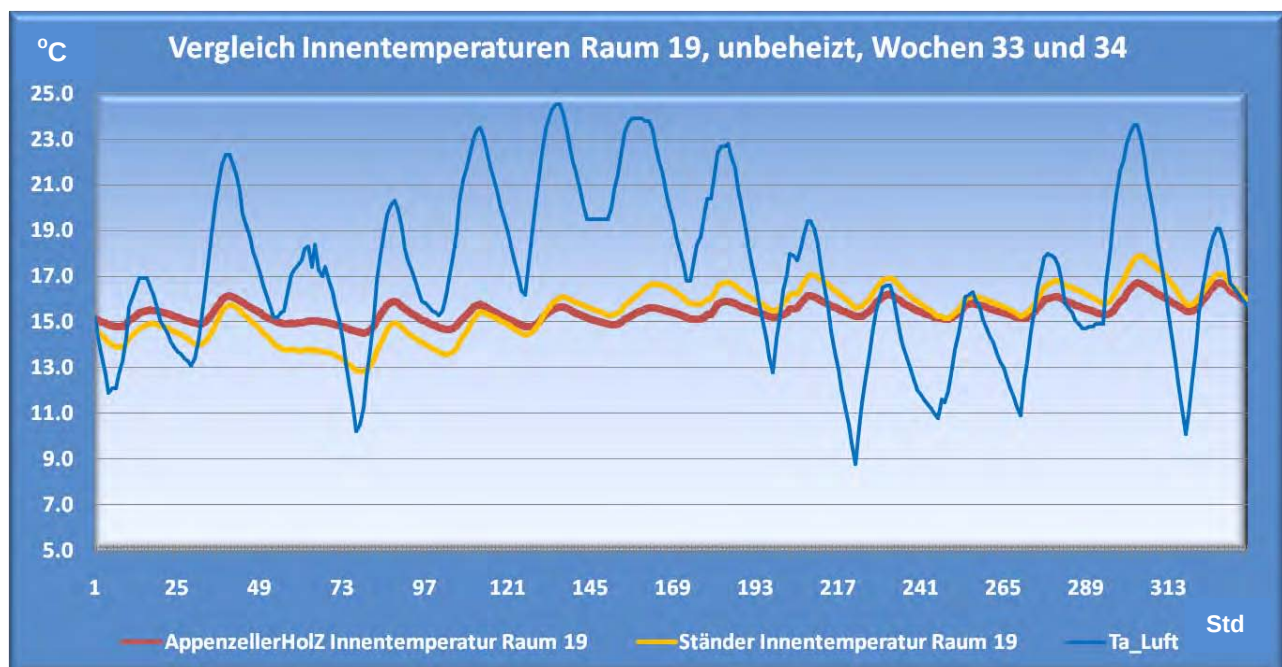
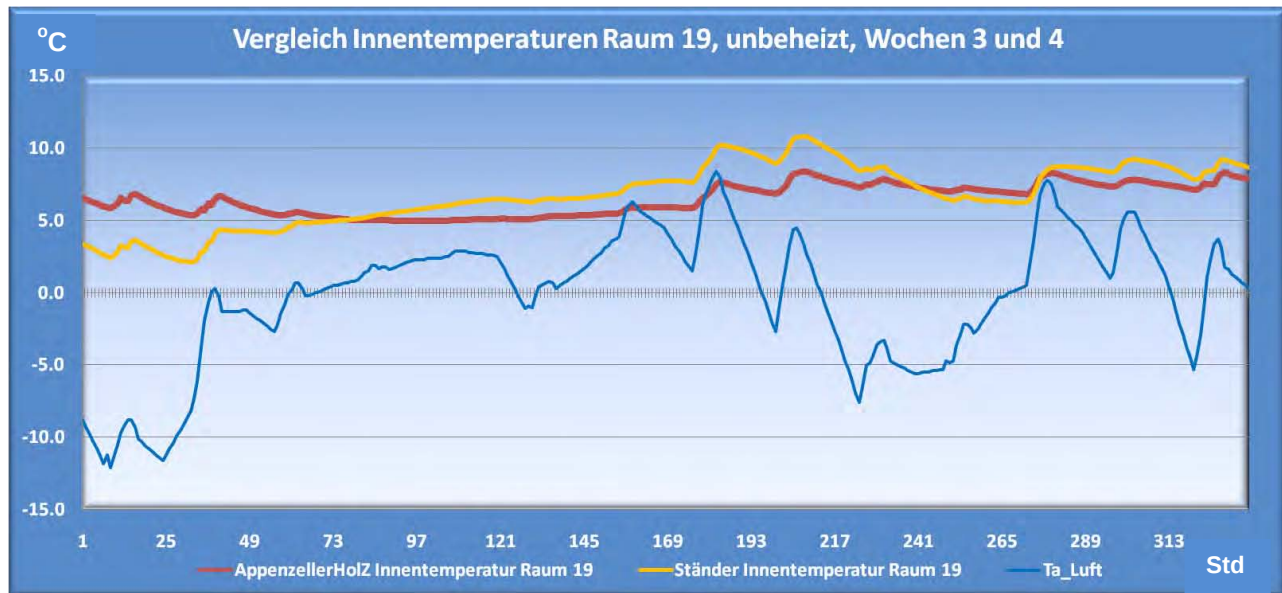
Die Unterschiede sind im Erdgeschoss sehr gering. Wir haben wenig Wandanteil, viele Fenster und den Wintergarten, der in das Geschoss stark einwirkt.

RAUM 15 IM OG – WOCHEN 3 UND 4 / WINTER – WOCHEN 33 UND 34 / SOMMER



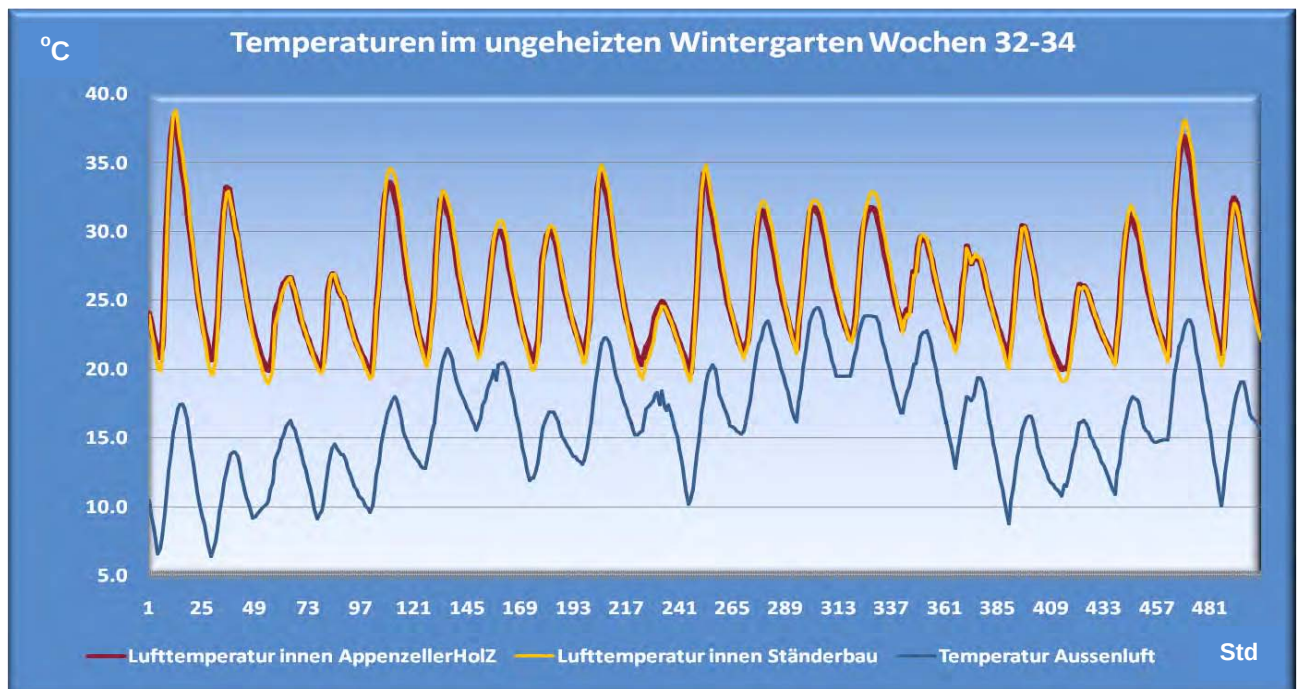
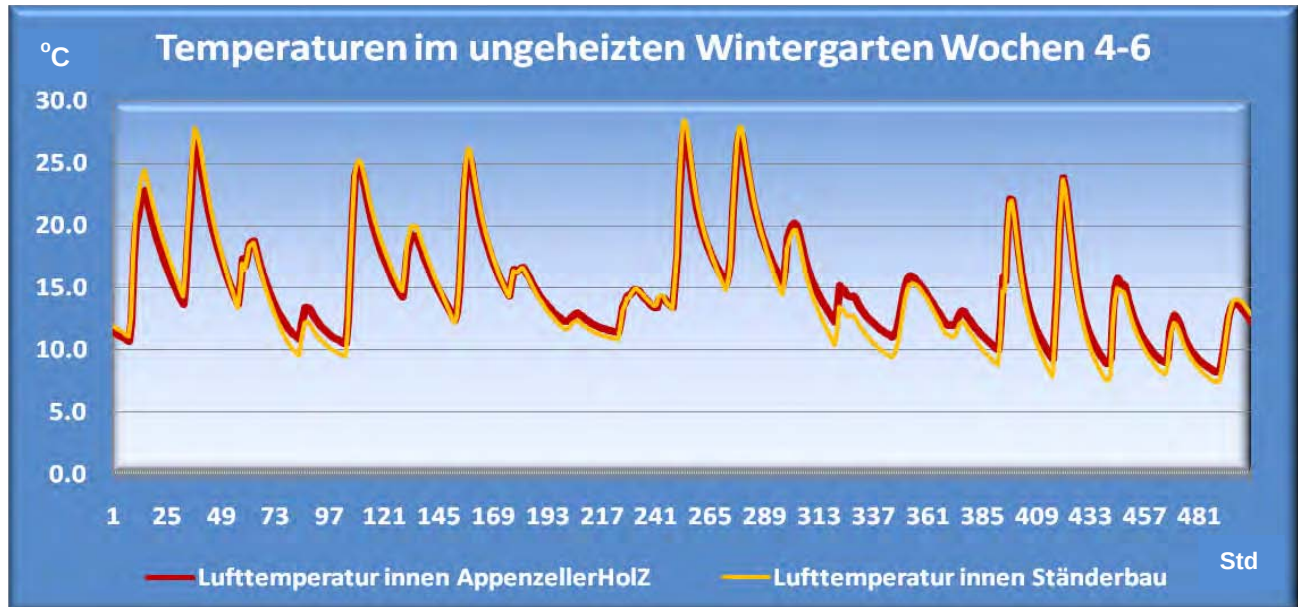
Wir befinden uns im OG inmitten der Holzkonstruktion. Tatsächlich zeigen sich hier nun die Unterschiede der beiden Konstruktionsarten. Der Ständerbau reagiert heftiger auf das dynamische Aussenklima. Man kann hier bereits vermuten, dass Menschen solche Schwankungen wahrnehmen.

RAUM 19 IM DG – WOCHEN 3 UND 4 / WINTER – WOCHEN 33 UND 34 / SOMMER



Die beiden Bauarten unterscheiden sich hier schon sehr beträchtlich. Das AppenzellerHolZ vermag die Schwankungen der Temperaturen besser auszugleichen. Die Massivholzkonstruktion zeigt ein doch wesentlich trägeres Verhalten. Als Anmerkung muss hier noch gesagt werden, dass wir auch in diesem Raum zusätzlich die Einwirkungen des Fensters und der Lüftungen haben.

RAUM 12 WINTERGARTEN – WOCHEN 3 UND 4 / WINTER – WOCHEN 33 UND 34 / SOMMER

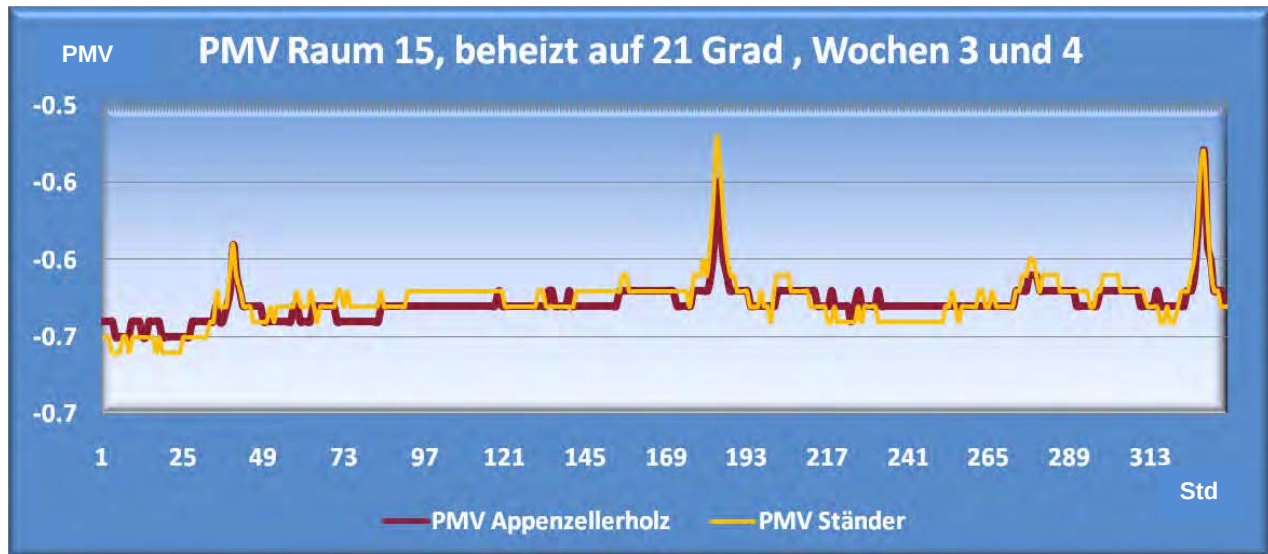


Der Wintergarten reagiert stark auf die Strahlung. Selbst im Winter sind Temperaturen über 30 Grad möglich. Beschattungen können dieser Überhitzung entgegenwirken. Für uns ist es interessant, dass auch hier Unterschiede der beiden Konstruktionsarten zu beobachten sind, auch wenn diese abgedämpft erscheinen.

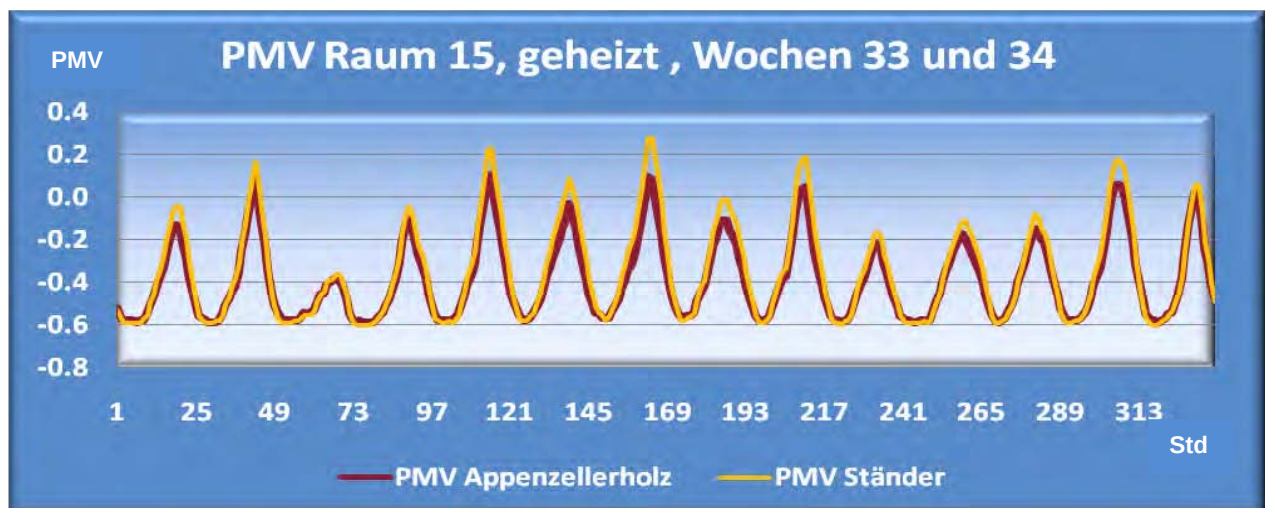
BEWERTUNG DER BEHAGLICHKEIT MIT DEM PMV

Zur Definition der Behaglichkeit wird der PMV (Predicated Mean Vote) gen. Der PMV beschreibt den durchschnittlichen Grad der Wärmeempfindung der Person (Skala: -3=zu kalt bis +3 = zu warm).

+ 3	heiß
+ 2	warm
+ 1	etwas warm
0	neutral
- 1	etwas kühl
- 2	kühl
- 3	kalt

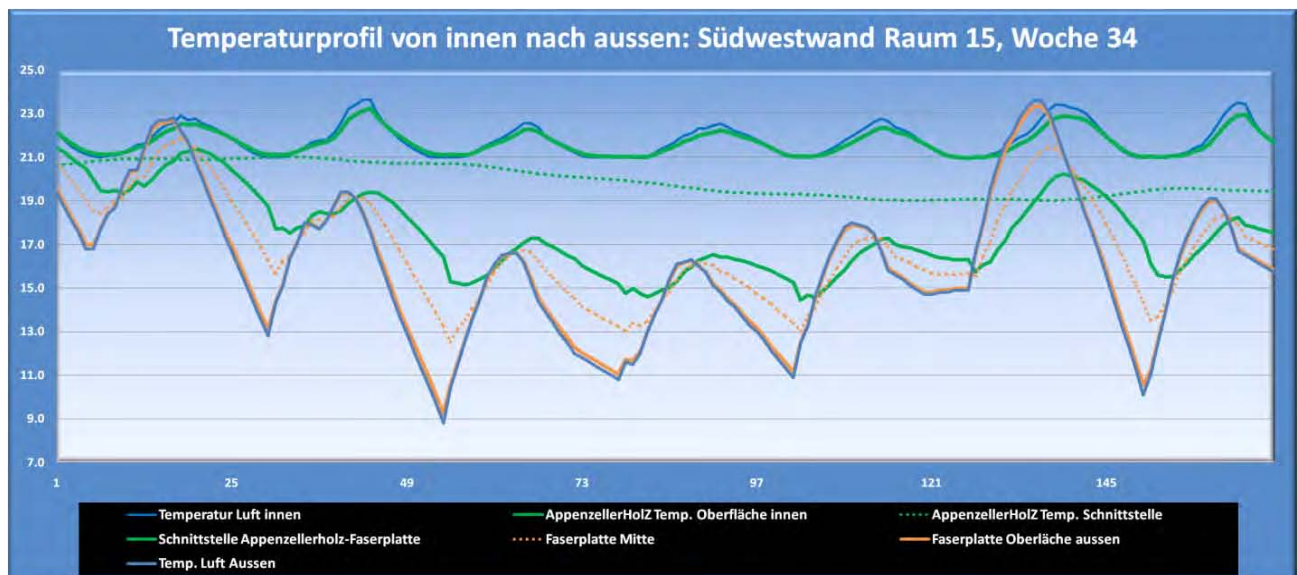
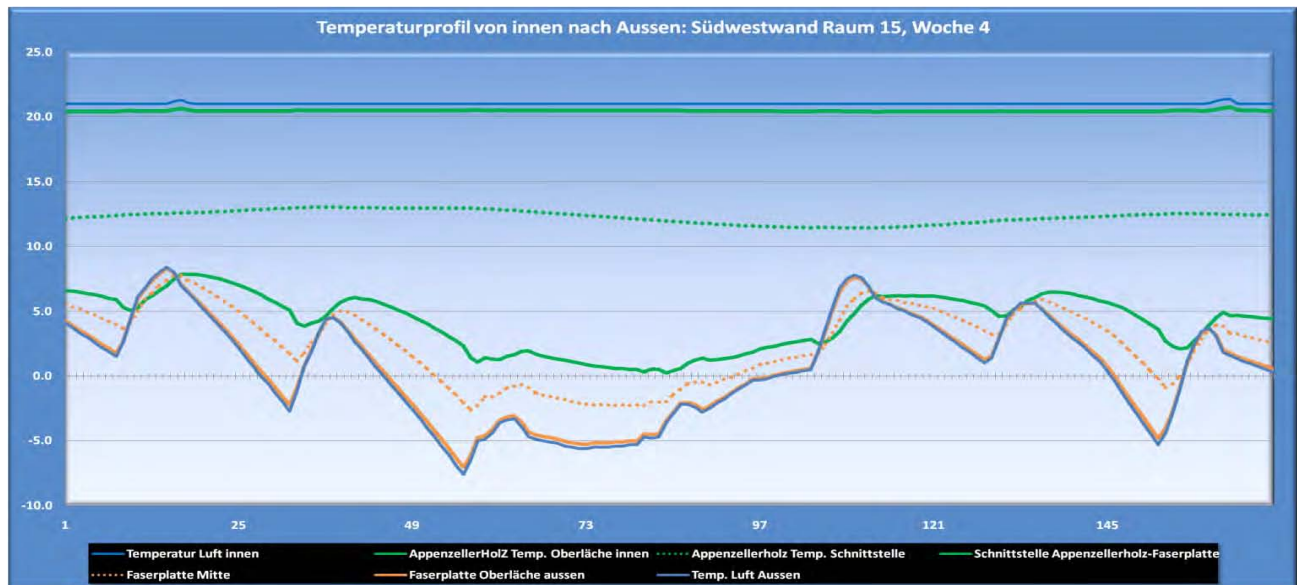


Die Unterschiede sind im unteren Bereich zu finden. Wir haben im Ständerbau mehr Werte unter 0.7. Um näher an Null zu kommen, müsste man auf 22 Grad heizen.



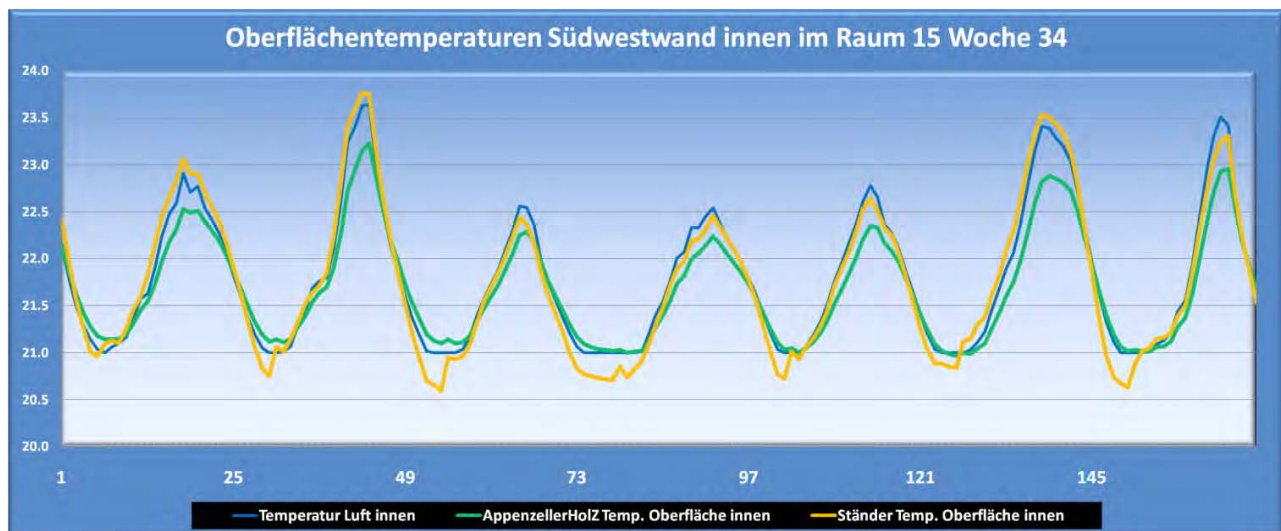
Die Temperatur ist bei der angenommenen leichten Bekleidung bei 21 Grad eher zu kalt. Die Strahlungswärme, die über Tag eintrifft, korrigiert den Wert nach knapp "etwas warm". Der Unterschied der Massivbauweise zeigt sich nicht unten, da der Raum bei einer Temperatur unter 21 Grad nachgeheizt wird. Oben hingegen sind die Spitzen im Ständerbau höher.

BAUTEILBETRACHTUNG APPENZELLERHOLZ-WAND RICHTUNG SÜD-WEST



Die beiden Diagramme der Woche 4 im Winter und die Woche 34 Sommer zeigen den Temperaturverlauf durch die Wand. Die blaue untere Linie zeichnet die Aussentemperatur ab. Die gelbe Linie mit der gestrichelten Mittellinie ist der Faserplatte von 35 mm zuzurechnen. Zwischen den grünen Linien liegen 360 mm AppenzellerHolz. Ganz oben ist dann die blau Linie, die der Innentemperatur entspricht. Im Winter haben wir eine konstante Innentemperatur infolge der Heizung. Im Sommer kommen die "Buckel" aus der Strahlungserwärmung durch die Fenster dazu. Wenn man die Kurven etwas analysiert, dann stellt man fest, dass wir eine Phasenverschiebung von 3 Tagen haben.

VERGLEICH DER OBERFLÄCHENTEMPERATUREN APPENZELLERHOLZ - STÄNDERKONSTRUKTION



Hier sind die Temperaturen direkt auf der inneren Wandoberfläche abgebildet. Das obere Diagramm der Woche 4 im Raum 15 im OG beschreibt eine Winterwoche, das untere Diagramm gibt über die Sommersituation Auskunft. Hier kommt nun deutlich zum Vorschein, wie sich eine Massivholzkonstruktion verhält. Sie kann Temperaturschwankungen wesentlich besser ausgleichen.

TEILPROJEKT 3: MONOBLOCK AM INSTITUT FÜR BAUSTOFFE ETH ZÜRICH

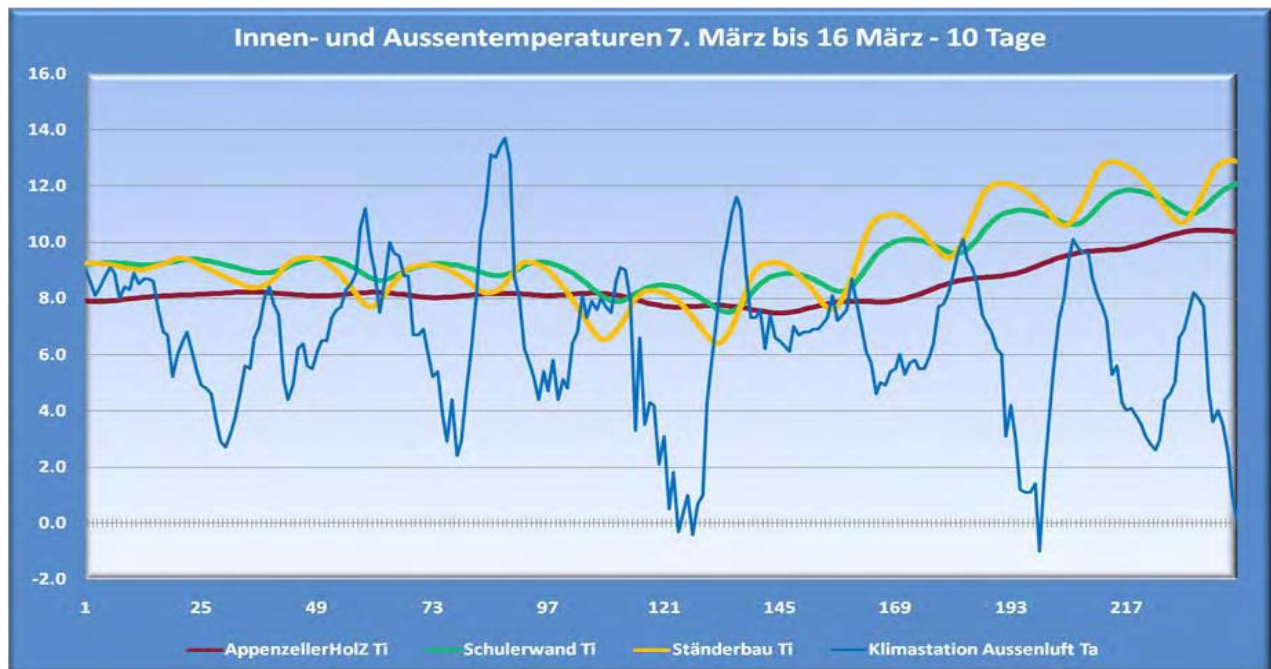
Für bessere Einblicke in die Dynamik der Temperatur- und Feuchtebalancen innerhalb der Konstruktion und des durch sie umschlossenen Raumes wurden nach den Erfahrungen mit der Versuchstruhe bei der Firma Nägeli, an der ETH neue Versuchseinrichtungen aufgebaut. Man verzichtete auf Fenster und Öffnungen. Innerhalb und ausserhalb von drei Monoblocks werden zurzeit Messungen des Temperaturverlaufs und der Feuchte wissenschaftlich durchgeführt. Als Konstruktionsvarianten wurden ein Ständerbau, das System "Schuler" und das System AppenzellerHolZ gewählt.



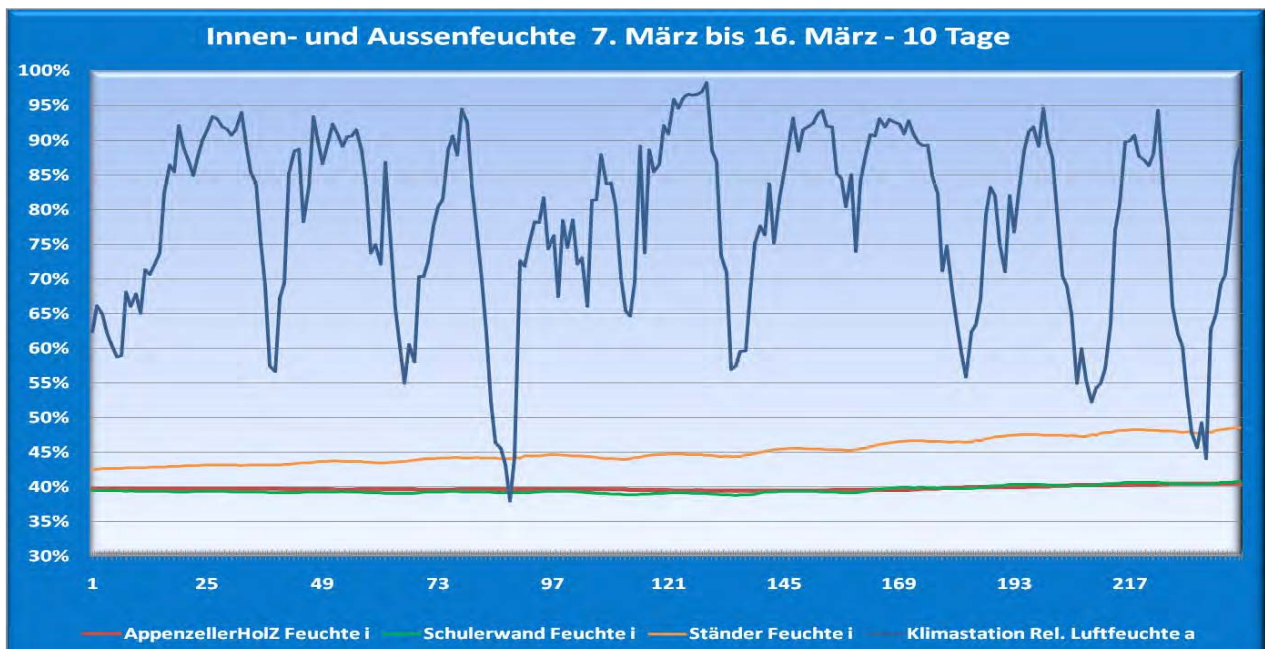
Abbildungen 3.1-4:

Die 3 Monoblocks in Ständerbau, Schulerwand und AppenzellerHolZ und das Messgerät im Versuchskörper AppenzellerHolZ

MESSUNGEN DER TEMPERATUREN IM INNERN DER MONOBLOCKS



MESSUNG DER LUFTFEUCHTE IM INNERN DER MONOBLOCKS



Die rote Linie zeigt hier bei der Temperaturmessung einen markanten Unterschied zu den anderen Bauweisen. Die Luftfeuchte unterscheidet sich in den beiden Konstruktionsarten Schuler und AppenzellerHolZ kaum. Bei beiden Konstruktionen haben wir im Inneren eine dicke Holzschicht. Das erklärt dieses Phänomen. Die Ständerkonstruktionslinie (gelb) geht indes rasant nach oben.

TEILPROJEKT 4: DATENBANK FÜR DIE BERECHNUNGEN

Bearbeiter: F. Bächle

Mitarbeiter: W. Sonderegger, H. Bader, A. Weber, A. Foglia, P. Niemz

ZUSAMMENFASSUNG

An einer Vielzahl von Holzarten, Holzwerkstoffen sowie Verbundwerkstoffen wurde durch die Gruppe Holzphysik des Instituts für Baustoffe die Wärmeleitfähigkeit bestimmt. Zusätzlich wurden auf dem Internet Recherchen durchgeführt, um weitere Baustoffkennwerte zusammenzustellen. Zudem wurden die bisher bestimmten Werte für die Wasserdampfdiffusionszahl μ aufgezeichnet. Die Kenndaten wurden in eine Access-Datenbank eingebunden, mit welcher eine einfache Datenübernahme in andere Programme gewährleistet ist. Die Datenbank ist so aufgebaut, dass sie laufend mit neuen Resultaten/Baustoffen ergänzt werden kann. Eine Kopie der Datenbank liegt in elektronischer Form bei.

Somit können die Daten als Grundlage dienen, um im Verbund mit den CAD-Daten der Konstruktion Aussagen über die wärmetechnischen Eigenschaften von geplanten Bauten zu ermitteln.

EINFÜHRUNG

Bezüglich des Wärme- und Diffusionsverhaltens besitzen Holz und Holzwerkstoffe gegenüber anderen Baustoffen erhebliche Vorteile (niedrige Wärmeleitfähigkeit und hohe Phasenverschiebung mit starker Reduzierung der Amplitude; Aufnahme und Abgabe von Wasserdampf aus der Luft). Da im Bauwesen zunehmend neue Holzwerkstoffe eingesetzt werden (z.B. Massivholzplatten, OSB, Brettstapelelemente), ist es wichtig, exakte Materialkennwerte zu erhalten, da sonst für die theoretische Berechnung und Simulationen einer Konstruktion auf z.T. erheblich abweichende Schätzwerte zurückgegriffen werden muss. So beträgt z.B. in der SIA 279 der tabellierte Bemessungswert für die Wärmeleitfähigkeit für Holzfaserdämmplatten 0.080 W/mK, während die überwachten Nennwerte dieser Holzwerkstoffe bei 0.044-0.052 W/mK liegen.

Die in der Datenbank aufgeführten Kennwerte stammen zum Teil aus diversen (Diplom-) Arbeiten an der ETH Zürich, zum Teil werden noch weitere Arbeiten/Messungen durchgeführt. Ferner wurden Daten zum Sorptionsverhalten eingebunden.

MATERIAL UND METHODEN

VERSUCHSMATERIAL

Als Versuchsmaterial wurde eine Vielzahl von gebräuchlichen Hölzern und Holzwerkstoffen gewählt. Zusätzlich wurden eigene Varianten von z.B. Massivholzplatten hergestellt und gemessen.

Genauere Kenndaten sind in der Datenbank zu finden.

WÄRMELEITFÄHIGKEIT



Für die Messungen wurde das Einplatten-Wärmeleitfähigkeitsmessgerät λ -Meter EP500 der Firma Lambda-Messtechnik GmbH, Dresden verwendet (Abbildung 1). Damit können Messungen an Werkstoffplatten von 500 mm x 500 mm Fläche im Temperaturbereich zwischen 10°C und 40°C bei Plattendicken von 10 – 120 mm durchgeführt werden. Für die Weichfaserplatten wurde entsprechend der Norm DIN EN 13171 ein Anpressdruck von 250 N/m², für die übrigen Platten der höchst mögliche Anpressdruck von 2500 N/m² verwendet.

Abbildung 4.1: λ -Meter EP500

In die Datenbank wurden vereinfachend nur die Messwerte für λ_{10} und λ_{20} aufgenommen, da diese überwiegend ermittelt wurden.

WASSERDAMPFDIFFUSION

Die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ ist eine dimensionslose Grösse, deren Zahlenwert angibt, wie viel Mal dichter das betreffende Stoffgefüge gegen diffundierende Wassermoleküle ist, als eine ruhende, gleich dicke Luftschicht, d.h. wie viel Mal grösser der Diffusionsdurchlasswiderstand des Stoffes ist, als der einer gleich dicken ruhenden Luftschicht gleicher Temperatur. Bei den Untersuchungen an der ETH wird unterschieden zwischen μ -trocken und μ -nass. Beim ersten wird ein Normalklima (20°C/65% rel. Luftfeuchte) gegenüber Wasser geprüft (100% Luftfeuchte), beim zweiten wird Normalklima (20°C/65% rel. Luftfeuchte) gegenüber Trocknungsmittel geprüft (0% Luftfeuchte); siehe dazu Abbildung 4.2.

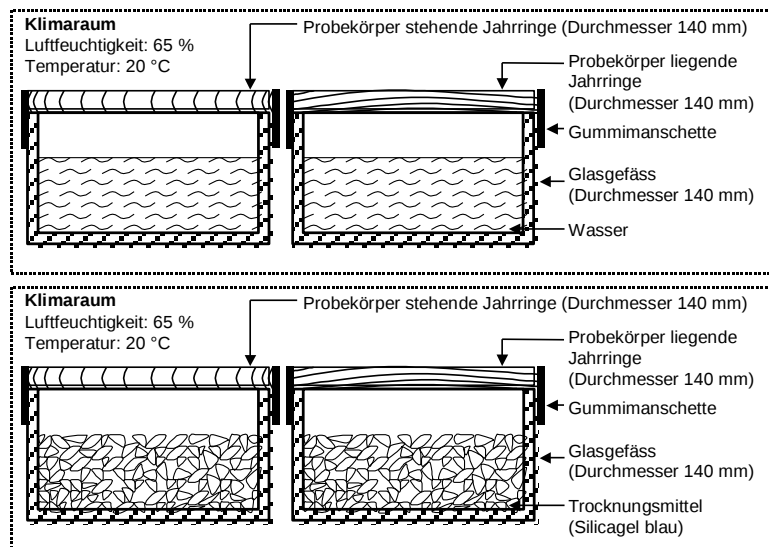


Abbildung 4.2:

Messaufbau zur Bestimmung der Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ ; oben: Variante nass (Wasser im Behälter), unten: Variante trocken (Trocknungsmittel im Behälter)

AUFBAU UND STRUKTUR DER DATENBANK

Inhalt der Datenbank:

Bezeichnung des Materials, Materialart und Hersteller

Dicke, Dichte und Feuchte des jeweiligen Materials

Wärmeleitzahlen: λ_{10} und λ_{20} ; zugehörig jeweils zu den obigen Materialparametern

Diffusionswiderstände: μ trocken (Normalklima zu 0% Luftfeuchte, dry cup) und μ nass (Normalklima zu 100% Luftfeuchte, wet cup); zugehörig jeweils zu den obigen Materialparametern

Quelle der Kennzahlen und Bemerkungen

Die Datenbank wurde so aufgebaut, dass alle Angaben erfasst wurden, die zum aktuellen Stand vorliegen. Sie umfasst derzeit ca. 240 Materialien hinsichtlich Wärmeleitfähigkeiten und ca. 30 mit den Wasserdampfdiffusionswerten. Zusätzlich sind in einer Excel-Datei alle derzeit bei uns verfügbaren Kennwerte zum Sorptionsverhalten verschiedener Holzarten und Holzwerkstoffe aufgeführt. Die Daten zum Sorptionsverhalten sind in weiterführenden Arbeiten in Berechnungsgleichungen umzusetzen.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Es war ein deutlicher Einfluss der Temperatur und der Feuchte auf die Wärmeleitfähigkeit zu beobachten. Diese ist zudem sowohl von der Plattenstärke als auch von der Dichte abhängig.

Für Fichtenholz wurden vorwiegend niedrigere Wärmeleitfähigkeitswerte gemessen. In der Literatur werden meist Rechenwerte nach DIN 410 angegeben (Fichte, Kiefer, Tanne 0,13 W/mK; Buche, Eiche 0,20 W/mK). Diese sind höher als deutlich höher als die messtechnisch ermittelten Daten. Sie enthalten einen erheblichen Sicherheitszuschlag.

Geschlitzte Mittellagen oder Hohlräume in Massivholzplatten bewirkten eine Reduzierung der Wärmeleitfähigkeit. Dies ist auf die Dichterduzierung zurückzuführen.

Bei thermisch behandeltem Holz wird die Wärmeleitfähigkeit um 12% gegenüber unbehandeltem reduziert.

Bei Diffusionsmessungen an Buchen- und Fichtenholz wurde ermittelt, wie die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ mit abnehmender Holzfeuchte progressiv ansteigt. Auch ein geringer Einfluss der Schnitttrichtung ist vorhanden. Bei aus mehreren Lagen verklebten Werkstoffen steigt die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ mit zunehmender Anzahl Klebfugen steigt.

Die Datenbank ist so aufgebaut, dass diese jederzeit ergänzt werden kann.

In einem weiteren Schritt ist geplant, die jeweiligen Gleichgewichtsfeuchten der Materialien ebenfalls in einer Datenbank zu erfassen und diese nach Möglichkeit mit spezifischen Berechnungsgleichungen zu ergänzen.

ID	Bezeichnung	Materialart	Hersteller	Dicke	Dichte	Materialfeuchte	Anzahl Lagen	Lambda-10	Lambda-20	Diff
9	Spanplatte	V20	Kronospan	10	710	9	1	111	118	
10	Spanplatte	V20	Kronospan	16	657	9	1	102	110	
11	Spanplatte	V20	Kronospan	19	637	9	1	99	106	
12	Spanplatte	V20	Kronospan	40	624	8	1	109	113	
13	OSB	3	Kronospan	18	617	0	1	103	107	
14	MDF	V20	Kronospan	3	839	6	1	115	122	
15	MDF	V20	Kronospan	6	840	8	1	121	125	
16	MDF	V20	Kronospan	16	744	8	1	106	112	
17	MDF	V20	Kronospan	19	808	8	1	118	124	
18	MDF	V20	Kronospan	40	763	7	1	123	127	
19	MDF	Fubo grün	Kronospan	7	877	8	1	124	129	
20	MDF	WP 50 / DP 50	Kronospan	15	529	9	1	76	82	
21	Sperrholz	Multipler Buche	Hess	25	741	10	11	159	166	
22	Sperrholz	Multipler Buche	Hess	30	777	10	13	164	169	
23	Sperrholz	Multipler Buche	Hess	35	777	10	15	173	179	
24	Sperrholz	Multipler Buche	Hess	50	748	11	21	168	173	
25	Massivholz		Nägeli	150	410	14	1		95	
26	Massivholz		Nägeli	180	416	15	1		98	
27	Faserplatte	Isolant	Pavatex	19	228	10	1	45	47	
28	Faserplatte	Isolant	Pavatex	19	221	0	1	42	44	
29	Faserplatte	Pavatherm	Pavatex	60	174	10	1	39	43	
30	Faserplatte	Pavatherm	Pavatex	60	163	0	1	38	40	
31	Faserplatte	Stropoly	Fensterfabrik Albisrieden	56	467	8	1	82	85	
32	Verbund	Frinorm	Fensterfabrik Albisrieden	54	432	7	1	52	52	
33	MHP	einseitig geschlitz	Schilliger	70	415	12	3	94	101	
34	MHP	zweiseitig geschlitz	Schilliger	70	406	12	3	98	105	

Abbildung 4.3:

Datenbank Access mit λ -Werten

Material	Bemerkungen	Dicke [mm]	Dichte kg/m ³	11%	35%	44%	50%	60%	65%	75%	80%	85%	88%	93%	90%	95%
15	Podocarpus	x	5,80				8,46	11,33		15,12						24,16
16	Latifolius	s	0,08				0,10	0,13		0,10						0,20
17	Newtonia	x	4,99				7,52	10,14		13,82						22,77
18	Buchananii	s	0,08				0,09	0,14		0,18						0,33
19	Macaranga	x	5,03				7,65	10,48		14,20						24,18
20	Neomildbroadiana	s	0,16				0,09	0,09		0,11						0,22
21	Entandophragma	x	5,98				8,74	11,73		16,25						27,88
22	Excelsum	s	0,09				0,13	0,16		0,21						0,58
23	Chrysophyllum	x	5,16				7,88	10,72		14,47						23,72
24	Gorungosanum	s	0,06				0,06	0,10		0,07						0,21
25	Carapa	x	5,34				8,15	11,16		15,05						24,91
26	Grandiflora	s	0,08				0,09	0,13		0,15						0,25
27	Edelkastanie	x	496,00				8,57	11,56		12,63						18,97
28		s	39,8				0,16	0,18		0,27						0,25
29	Lärche	x	616				7,91	9,91		11,89						18,99
30		s	43,96				0,24	0,41		0,64						1,24
31	Radiata pine	x	551				7,87	10,15		12,95						20,67
32		s	49,93				0,06	0,08		0,12						0,31
33	Alerce	x	450,71				7,96	9,8		11,99						17,8
34		s	52,68				0,2	0,31		0,44						0,75
35	Rauli	x	512				7,58	9,3		11,5						18,68
36		s	51,3				0,17	0,08		0,12						0,25
37	Eucalyptus glob	x	1000				8,54	9,27		11,48						18,44
38		s	88,29				0,26	0,28		0,28						0,77
39	Coigue	x	528				7,29	9,29		11,63						18,46
40		s	100,38				0,31	0,28		0,38						0,93
41	Manio	x	516				8,27	10,47		13,03						20,68
42		s	52,47				0,25	0,21		0,27						0,57
43	Lenga	x	510				7,48	9,37		11,63						17,87
44		s	19,91				0,17	0,13		0,14						0,37
45	Vollholz	Fichte	x	7,69			9,65	11,31		15,18						19,1
46	Vollholz	Rotbuche	s	7,17			8,92	10,34		14,61						18,78
47	Sperrholz	Buche	x	7,32			8,9	10,1		13,09						17,32
48	Spanplatte	PF- verleimt	x	8,09			9,42	10,52		14,62						21,6
49	Spanplatte	PDMi verleimt	x	6,45			8,76	10,21		13,5						17,08

Abbildung 4.4:

Datensammlung Sorptionswerte mit variabler Holzfeuchte

TEILPROJEKT 5: SIMULATIONSPROGRAMM UND SCHNITTSTELLEN

FORTRAN-PROGRAMM DYANA

In 4 jähriger Arbeit hat Dr. Manfred Mahler zusammen mit Création Holz ein thermodynamisches Simulationsprogramm in Fortran geschrieben, welches alle denkbaren Einflüsse miteinbeziehen kann. Es ist ein Programm, das theoretisch beliebig viele Räume mit ihren Beziehungen ausbalancieren kann. Die zeitlichen Berechnungszyklen können individuell z.B. jede Stunde über ein Jahr eingestellt werden. Das Programm kommt auch beim Fassadensystem Lucido, einer Bauweise mit einer vor die Fassade gesetzten eisenarmen Solarglas und dahinter eingebautem Holzabsorber in Einsatz. Wir können mit diesem Programm alle Einflüsse des Klimas mit den Temperaturfeldern, den Strahlungen, der Windbewegungen und Beschattungen durch das Gelände und andere Bauten miteinbeziehen.

Mit diesem Programm haben wir das Haus Mittelholzer gerechnet. Das Programm ist aber noch nicht benutzerfreundlich. Der Aufwand für die Dateneingaben ist enorm hoch und die Resultatausgaben sind noch nicht sehr verständlich bzw. vom Laien kaum zu interpretieren.

```

PROGRAM
  Simulation
  von
  Räumen
  aufgrund
  INSTATIONÄRE
  TEMPERATUR-
  VORGABE
  mit
  STRAHLUNG
  WÄRMEQUELLE
  FINITE ZEITTEILUNG
  ITERATION DER
  LUFTSPALTENTEMPERATUR
  EINER VORGESETZTEN GLASFASADE
  mit "Schaufelprogramm" für it
  Version S18_Geis_V2 vom 12.4.2007 a.B.v.
  Version S18_Geis vom 7.3.2007 a.B.v.
  Version S18_Boxen vom 5.3.2007 a.B.v.
  Version S18_Boxen_Dach vom 31.01.2007 a.B.v.
  Version S18_Boxen vom 26.01.2007 a.B.v.
  Version S17_Boxen vom 25.01.2007 a.B.v.
  Version S17 vom 24.01.2007 auf Basis von
  Version S16 vom 23.01.2006 auf Basis von
  Version S15a vom 20.10.2006 auf Basis von
  Version S15 vom 20.10.2006 auf Basis von
  Version S14a vom 20.10.2006 auf Basis von
  Version S13 vom 6.7.2006 auf Basis von
  Version S12 vom 13.6.2006 auf Basis von
  Version S11 vom 29.5.2006 auf Basis von
  hier wird der nächste Zeitschritt direkt nach
  dem Initialisieren der A.B. gewählt !
  Für die Variante S_Fase = 0 (ohne Fassade)
  wird hier ebenfalls die A.B. benutzt, um
  Rechenzeit zu sparen !
  Mit Behaglichkeitskriterien !
  hier: richtigen Umsetzten Anfang/Ende des Monats
  hier: andere Routine im Raumgleichgewicht
  mit richtiger Berücksichtigung (innen/ausen) der Konstruktionen
  hier: Erweiterung der Dimensionen von "ik" von 99 auf 142
  
```

Abbildung 5.1: Fortran-Programm mit ca. 3500 Zeilen

ZIELGRUPPEN UND EINBETTUNG DER SOFTWARE IN EINE DATENBANK

Mit der Firma Technowood haben wir begonnen die Software dyAna über eine Datenbank anwendertauglicher zu machen. Im Endzustand werden Planer, Unternehmer und Inhaber wie Bewohner von Gebäuden diese Software nutzen können. Wir werden uns voraussichtlich auf folgende drei Zielgruppen konzentrieren:

Softwarepaket für die Planer: Architekten und Ingenieure

Softwarepaket für die Unternehmer: Holzbauer die im Hausbau tätig sind

Softwarepaket gebäudespezifisch: Besitzer und Nutzer von Gebäuden

SCHNITTSTELLE CADWORK / SIMULATIONSPROGRAMM DYANA

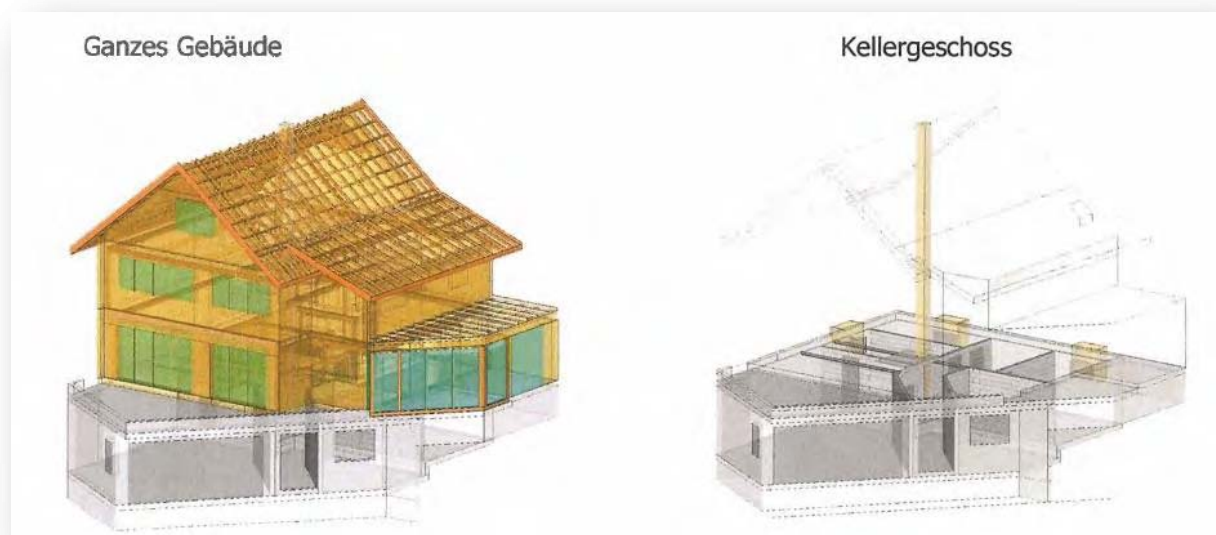
Das Simulationsprogramm in der jetzigen Fassung benötigt neben den Materialdaten der jeweiligen Konstruktionen sämtliche geometrische Daten eines Gebäudes mit Raumzuordnung der einzelnen Bauteile mit Angabe von Himmelsrichtung und Neigung. In CADWORK und auch in anderen Architekturprogrammen liegen alle geometrischen Daten bereits vor, sie müssen lediglich etwas modifiziert werden. Damit kann das Simulations-Programm dyAna unmittelbar eine vollständige, instationäre wärme- und feuchtetechnische Analyse mit detaillierten Aussagen zum Verhalten des Gebäudes durchführen. Die Klimarandbedingungen des Standortes werden aus der Klimadatenbank "METEONORM" übernommen.

Alle Prozessschritte der Thermosimulation (die Feuchtesimulation wird bis Ende Mai programmiert) wurden im Projekt Mittelholzer durchgespielt. Damit wurde die Basis für die Programmoptimierung gelegt. Im Rahmen dieses Projektes konnte diese Nacharbeit noch nicht an die Hand genommen werden. Mit der Firma Technowood steht nun aber ein Programmierer zur Verfügung, der sich an die Arbeit gesetzt hat.

ERSTE ILLUSTRATIONEN ZUR SCHNITTSTELLE CADWORK - DYANA

Mit diesen Bildern möchten wir zeigen, wie eine Übergabe visualisiert werden kann. Die Gliederungen und Nummerierungen werden abgestuft nach folgendem Schema stattfinden:

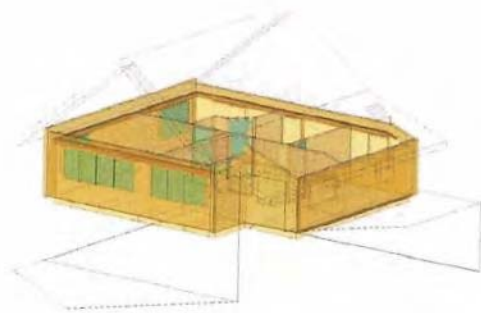
- Hüllenteile mit Nummerierung
- Bauteile mit Nummerierung
- Räume mit Nummerierung
- Geschosse mit Nummerierung
- Zuordnungen Bauteile zu den Räumen und Geschossen



Erdgeschoss



Obergeschoss



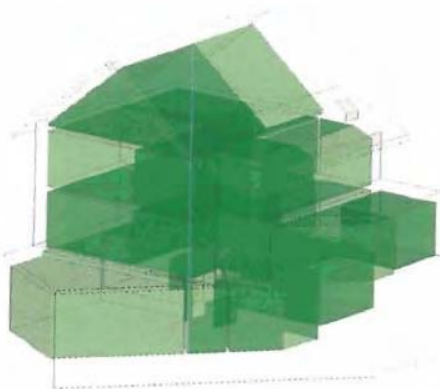
Dachgeschoss



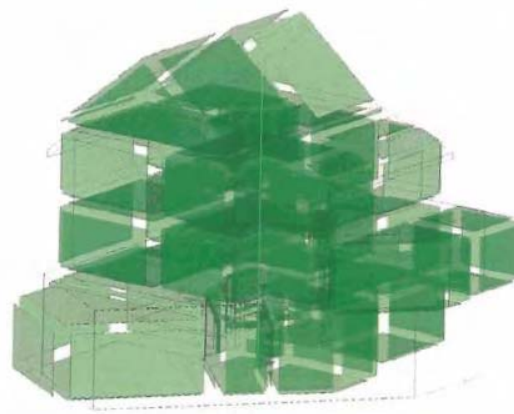
Öffnungen (Flächen)



Räume (Kubatur)



Wände, Böden, Decken (Flächen)



Unsere Eingabe erfolgte manuell. Damit konnten wir alle Prozessschritte 1:1 durchspielen und deren Anforderungen kennenlernen. Die Fehleranfälligkeit ist hoch, die Arbeit eher monoton. Es liegt auf der Hand, dass hier die EDV einen gewichtigen Beitrag zu einer komfortableren Eingabe leisten kann.

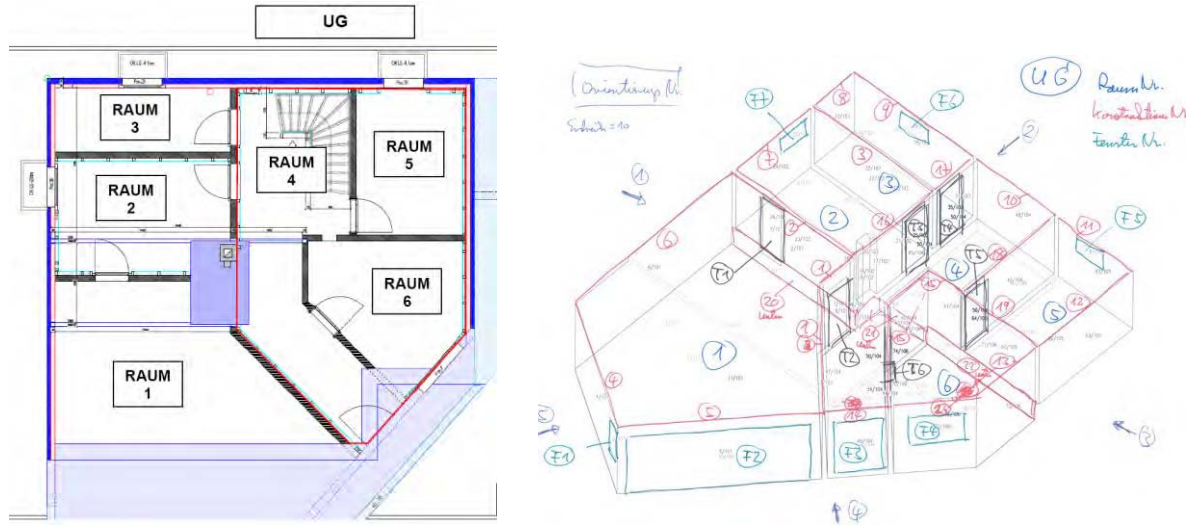


Bild 5.2:

Grundriss UG aus dem Hause der Firma Nägeli und die Handzeichnung für die Nummerierungen und Zuordnungen

	Konstruktion Nr.	Raum-Nr. 1	Raum-Nr. 2	Orientierung Nr.	Fläche	Fläche aus CADWORK	Wände	Wände	Konstruktion Nr.	Wandaufbau Nr	Kon-Nr.	
UG	1	1	4	0	17.25	14.85	Innenwand		1	3	1	
	2	1	2	0	10.71	8.84	Innenwand		2	3	2	
	3	2	3	0	12.72	10.67	Innenwand		3	3	3	
	4	1	0	6	13.93	11.78		Außenwand	4	2	4	
	5	1	0	4	4.92	3.68		Außenwand	5	2	5	
	6	1	0	10	20.35	17.73		Außenwand	6	1	6	Erreich !
	7	2	0	10	8.14	6.52		Außenwand	7	1	7	Erreich !
	8	3	0	10	5.15	3.88		Außenwand	8	1	8	Erreich !
	9	3	0	10	12.02	10.03		Außenwand	9	1	9	Erreich !
	10	4	0	10	8.60	6.93		Außenwand	10	1	10	Erreich !
	11	5	0	10	7.63	6.06		Außenwand	11	1	11	Erreich !
	12	5	0	10	10.86	8.97		Außenwand	12	1	12	Erreich !
	13	6	0	10	8.44	6.79		Außenwand	13	1	13	Erreich !
	14	4	0	4	2.40	1.56		Außenwand	14	2	14	
	15	4	6	0	20.10	17.50	Innenwand		15	3	15	
	16	2	4	0	8.00	6.39	Innenwand		16	3	16	
	17	3	4	0	2.84	1.92	Innenwand		17	3	17	
	18	4	5	0	8.89	7.01	Innenwand		18	3	18	
	19	6	5	0	8.34	6.70	Innenwand		19	3	19	
	20	1	0	10	3.24	2.25		Außenwand	20	1	20	Erreich !
	21	4	0	10	1.48	0.84		Außenwand	21	1	21	Erreich !
	22	6	0	10	2.97	2.02		Außenwand	22	1	22	Erreich !
	23	6	0	3	6.03	4.65		Außenwand	23	2	23	
EG	24	8	0	1	8.43	6.78		Außenwand	24	2	24	
	25	8	0	2	6.81	5.33		Außenwand	25	2	25	
	26	9	0	2	3.66	2.60		Außenwand	26	2	26	
	27	10	0	2	7.13	5.62		Außenwand	27	2	27	
	28	11	0	2	5.51	4.19		Außenwand	28	2	28	
	29	13	0	2	8.14	6.52		Außenwand	29	2	29	
	30	13	0	3	2.52	1.66		Außenwand	30	2	30	

Tabelle 5.3: Zuordnungen der Bauteile zu den Räumen

TEILPROJEKT 6: FEUCHTEDYNAMISCHE SIMULATIONEN

Leider steht vom Programm die Routine für die Feuchtesimulation noch nicht zur Verfügung. Da diese aber genau den Algorithmen entspricht die auch für die Thermosimulation in Einsatz kommen, kann man sich in etwa ein Bild machen, wie die Resultate aussehen. Mit Sicherheit werden wir wie bei der Messung am Monoblock in Zürich einen Vorteil in der Ausgeglichenheit für das Massivholz erreichen. Die Programmierung sollte bis Ende Mai fertiggestellt werden. Einzelne Berechnungen könnten noch nachgereicht werden.

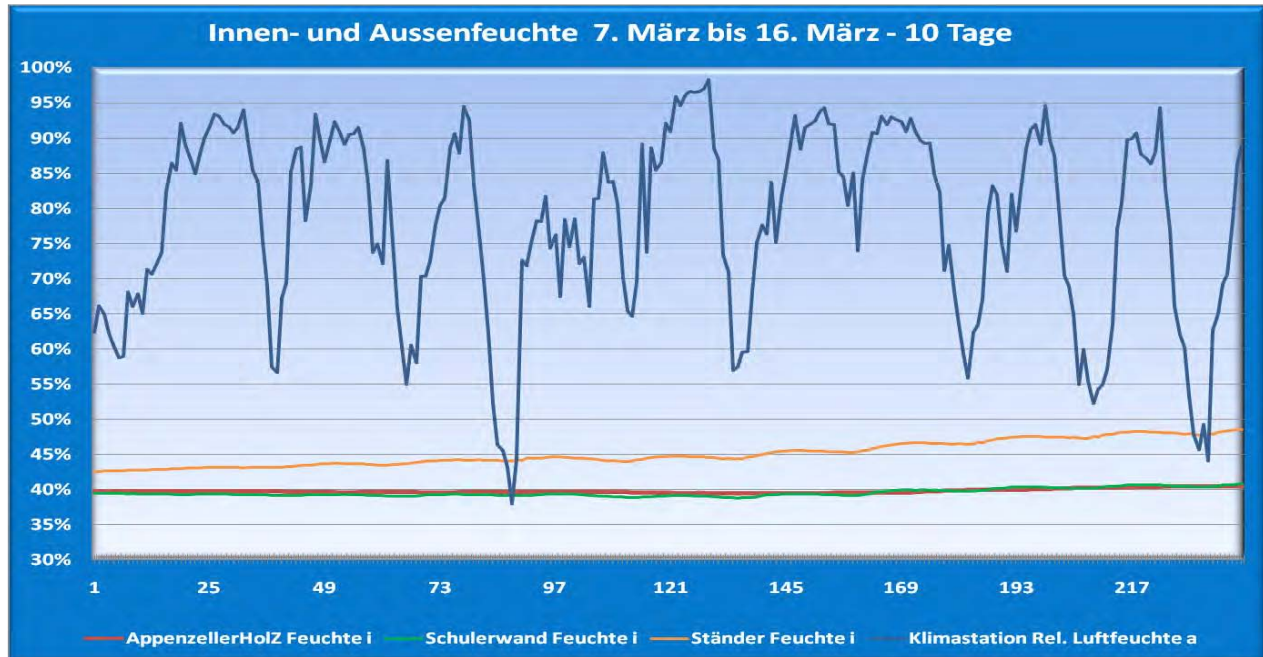


Abbildung 6.1:

Feuchtemessungen an der ETH im Monoblock und deren Gegenüberstellungen. Die blaue Kurve beschreibt die Feuchte der Aussenluft; rot = AppenzellerHolZ, grün = Schulermodell und orange = Ständerwand im Innenbereich

TEILPROJEKT 7: BETRACHTUNGEN FÜR DIE ZUKUNFT - HAUS MITTELHOLZER

HEIZEN MIT HOLZ IN DER 2000 WATT-GESELLSCHAFT

In der Schweiz wachsen jedes Jahr 1.4 m^3 Holz pro Kopf der Bevölkerung nach. Das entspricht 2 Ster Fichtenbrennholz in loser Schichtung. 1 Ster Holz hat ein Äquivalent von 2×150 Liter Erdöl oder $2 \times 1500 \text{ kWh}$. Es wäre opportun mit folgender Regel zu denken: 1 Ster Holz kann in ländlichen Regionen pro Person für das CO_2 -neutrale Heizen mit Holz genutzt werden. Das entspricht bei 8760 Jahresstunden $1500 \cdot 000 / 8760 = 171$ Watt pro Person. Dazu muss noch die Grauenergie gerechnet werden. Wir hätten dann 200 Watt als Richtwert.

Im Minergiestandard werden einer Person 60 m^2 Wohnfläche zugerechnet – beim Haus Mittelholzer ist das:

Energiebezugsflächen (EBF): Gemessen netto Innenkanten

UG Räume 4 (HT 18 Grad), 5-6 (HT 21 Grad)	44 m^2
EG Räume 7-11 (HT 21 Grad)	84 m^2
EG Wintergarten Raum 12 (nicht geheizt)	10 m^2 (7 m^2 angerechnet)
OG Räume 14-18 (HT 21 Grad)	83 m^2
DG Räume 19-20 (nicht geheizt)	64 m^2

EBF UG-OG	Mischbauweise (UG Massivbauweise)	218 m^2 (3.6 Personeneinheiten.)
EBF EG-OG	AppenzellerHolZ-Bauweise	174 m^2 (2.9 Personeneinheiten)

Aufgerundet könnten im Haus Mittelholzer in ländlichen Regionen 3.6 Ster bzw. 5400 kWh oder 6 kg Holz/ m^2a bzw. 25 kWh/ m^2a verheizt werden.



Abbildung 7.1:

1 Ster Nadelholzspälten entsprechen 150 Liter Heizöl oder 1500 kWh

DIE VERTEILUNG DER EINERGIEEINTRÄGE UND DER ENERGIEVERLUSTE

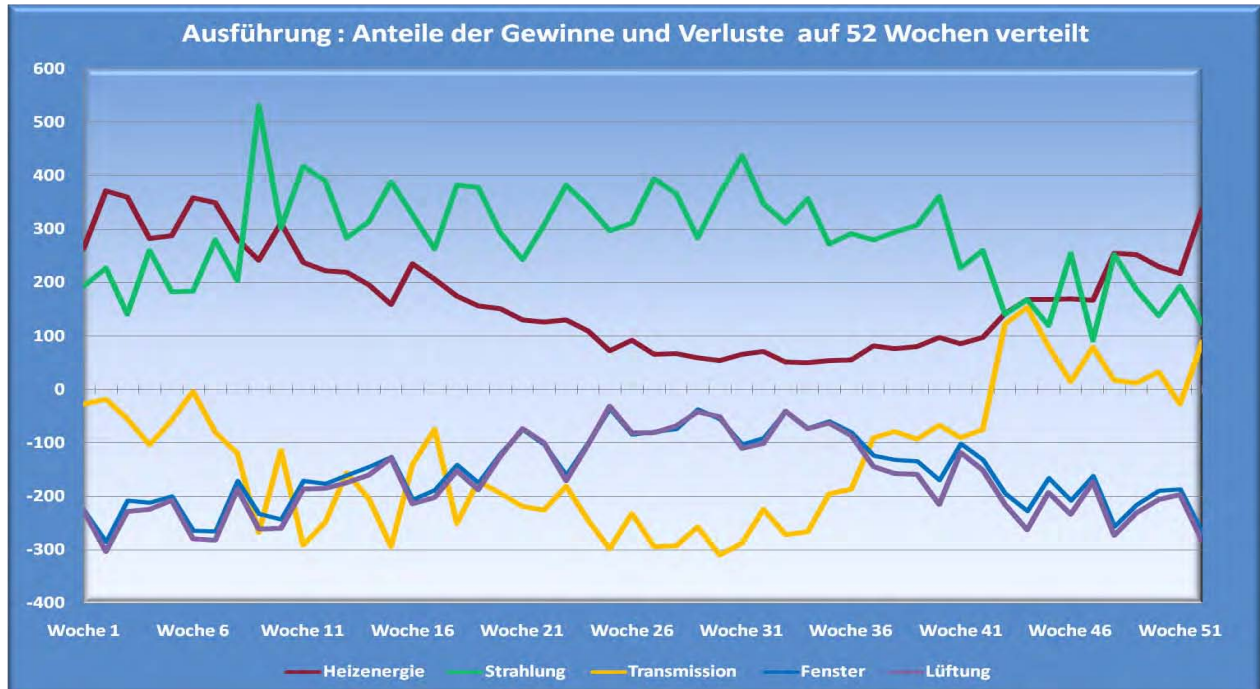


Abbildung 7.2:

Die einzelnen Kurven sind auf 52 Wochen aufgezeichnet. Gerade in der kalten Jahreszeit verlieren wir viel Energie durch die Fenster und die nicht kontrollierte Fensterlüftung

OPTIMIERUNG MIT FENSTERLÄDEN UND WÄRMETAUSCH - LÜFTUNG

Heizperioden Januar bis Mai und Oktober bis Dezember	Q Heizung UG-EG-OG	Heizung UG-EG-OG auf EBF bezogen	Q Heizung EG-OG	Heizung EG-OG auf EBF bezogen
Ausführung ohne Zusatzmassnahmen	7684 kWh	35.2 kWh/m ² a	4934 kWh	28.4 kWh/m ² a
Mit vakuumisolierten Fensterläden, die nachts geschlossen werden	6180 kWh	28.3 kWh/m ² a	3532 kWh	20.3 kWh/m ² a
Mit Fensterläden und dezentralen Lüftern und integriertem Wärmetauscher	4907 kWh	22.5 kWh/m ² a	2354 kWh	13.5 kWh/m ² a
Als Letztes wird noch die innere Quellenergie dazu addiert	3700 kWh	17.0 kWh/m ² a	1500 kWh	8.6 kWh/m ² a

Abbildung 7.3:

Als Vergleich haben wir beim Minergiestandard 45 kWh/m²a minus 14 kWh/m²a für Warmwasser. Beim Passivhaus ist die Forderung 15 kWh/m²a. Wir rechneten in unserem Fall mit Heiztemperaturen von 21 Grad mit Ausnahme im Raum 4 im UG. Erforderlich wären 20 Grad. Das ergäbe beim Verbrauch eine Reduktion von ca. 7-8%

DIE KURVEN LIEGEN NACH DIESEN MASSNAHMEN RADIKAL ANDERS

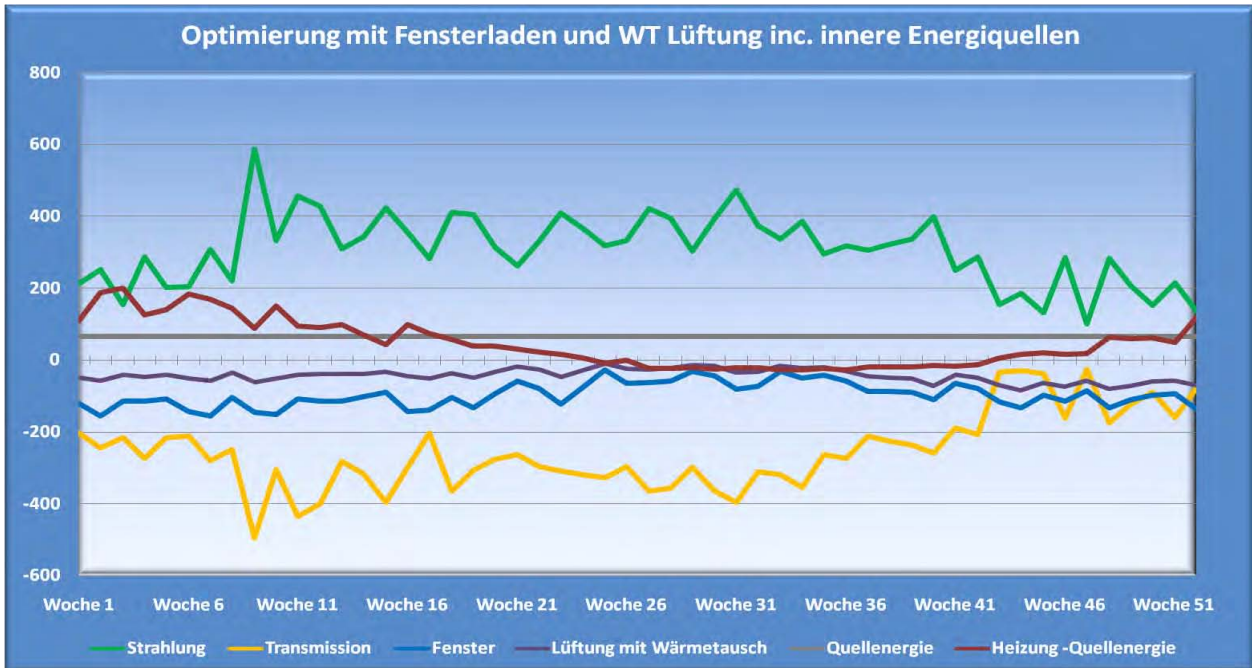


Abbildung 7.4: In dieser Grafik sind die Transmissionsverluste wieder dominierend. Allerdings strebt man beim Heizenergieverbrauch gegen Null.

. . . UND NUN LASSEN WIR NOCH DAS UG WEG!

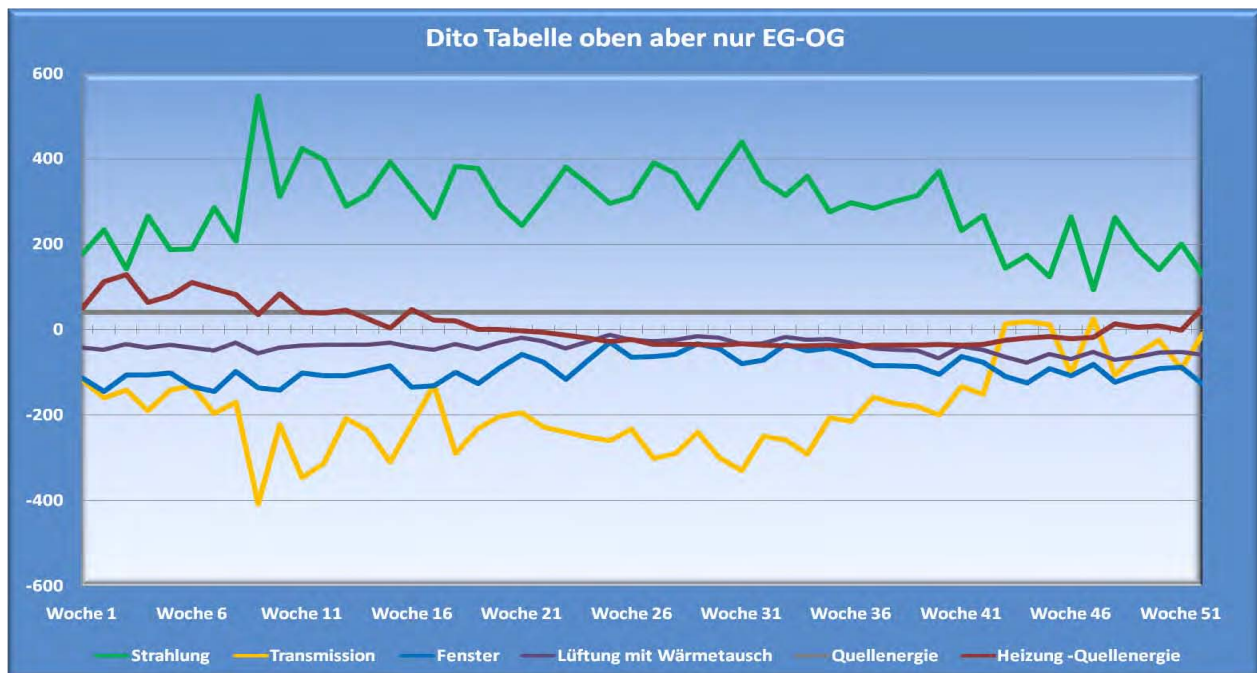


Abbildung 7.5: Wenn wir das UG weglassen, dann sehen wir an der dunkelroten Linie, dass Heizen nur noch während 6 Wochen mit sehr wenig Input nötig ist. Der träge Holzbau kann seine Vorteile hier überzeugend ins Spiel bringen

TEILPROJEKT 8: ARGUMENTARIUM THERMO- UND FEUCHTEDYNAMIK

Die Kernaufgabe dieses Projektes bestand darin, eine Argumentation für die Vorteile von Massivholzkonstruktionen aufzubauen. Unsere Untersuchungen haben ergeben, dass ungestörte AppenzellerHolZ-Konstruktionen messbare und spürbare Unterschiede zu einer Ständerkonstruktion zeigen. In Gebäuden mit Fenstern und Lüftung verschwindet dieser Unterschied je nach Anteil der Transmissionsverluste. Die Massivbauweise hat aber nicht nur den Vorteil einer Heizenergieeinsparung sondern auch denjenigen der homogenen Oberflächentemperaturen auf der Wandinnenseite und des Feuchteausgleiches.

Wir sind der Meinung, dass eine Argumentation auf noch mehr Fakten abgestützt werden sollte. Wir erwähnen hier die Vorteile der Bauökologie absichtlich nicht, da diese nicht Bestandteil unserer Untersuchungen waren. Wir glauben, dass mit der unten aufgeführten 5-Säulenargumentation die Verkaufs- bzw. Überzeugungsargumente ihre Wirkung haben werden.

- Einsparpotential an Heiz- und Kühlenergie im einstelligen Prozentbereich gegenüber Leichtbauten
- Beitrag zur CO₂-Pufferung und zusätzlich geringem Primärenergieeinsatz
- Verlässliche Kenntnisse über den Verlauf der Bauteiloberflächentemperaturen
- Verlässliche Kenntnisse über den Verlauf der Raumlufthtemperaturen
- Verlässliche Kenntnisse über den Verlauf der Luftfeuchtwerte

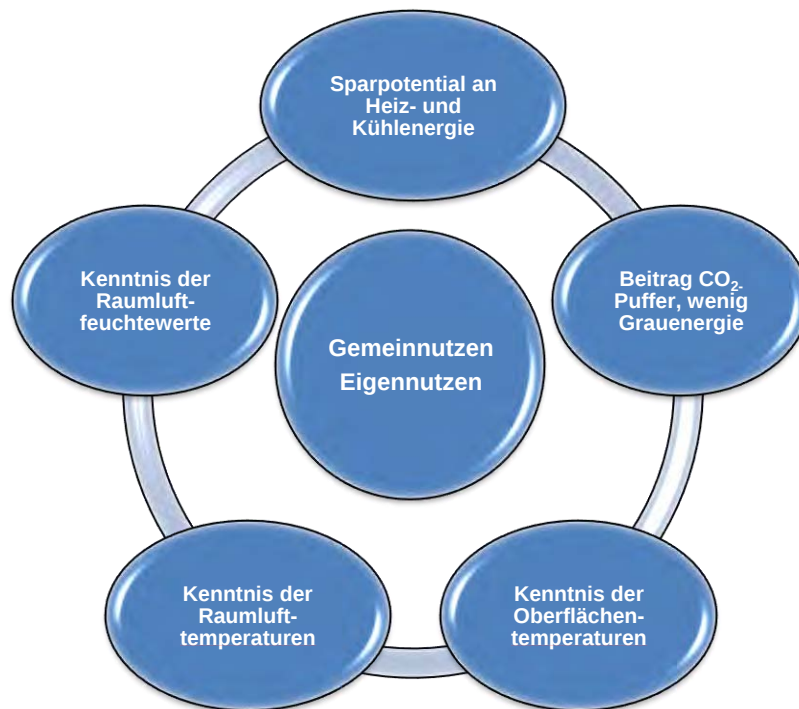


Abbildung 8.1: Der 5-Säulenkreis der Argumentation zum Thema "Thermo- und feuchtedynamischen Verhalten von AppenzellerHolZ-Konstruktionen"

EINSPARPOTENTIAL AN HEIZ- UND KÜHLENERGIE IM EINSTELLIGEN PROZENTBEREICH GEGENÜBER LEICHTBAUTEN

Die effektiven Einsparungen sind von mehreren Faktoren beeinflusst. Es spielt eine Rolle, welchen Anteil die Massivholzkonstruktion in der Hülle als Anteil gegenüber Fenster, Dach etc. einnimmt, wo und wie geheizt wird, wie die Strahlung genutzt werden kann und mit welcher Dynamik das Wetter auf das Gebäude einwirkt. Dazu kommen noch weitere Faktoren wie Beschattung, Lüftung usw. Mit dem Simulationsprogramm dyAna lassen sich die Vergleiche verlässlich errechnen. Die Messungen in den ETH-Boxen im Bild rechts brachten dazu die wissenschaftlichen Verifikationen. Je nach Standort und Ausführung liegen die Einsparpotentiale einer Massivholzkonstruktion gegenüber einer Leichtkonstruktion mit den heutigen tiefen U-Werten innerhalb von ca. 1-5%.



BEITRAG ZUR CO₂-PUFFERUNG UND ZUSÄTZLICH GERINGEM PRIMÄRENERGIEEINSATZ

Im Moment tun wir gut daran, grosse Holzmengen in Bauwerken einzusetzen. Dieses Holz speichert das CO₂ bis zu diesem Moment, wo das verbaute Holz vermodert oder energetisch weiterverwendet wird. Holzbauten können Jahrhunderte überdauern. Damit strebt auch die Amortisationszeit der Grauenergie gegen Null. Das Bild rechts zeigt eine Fassade eines Appenzellerhauses mit 400-jähriger Geschichte. Ihr Leben geht nun am Werkstattgebäude der Firma Nägeli weiter.



VERLÄSSLICHE KENNTNISSE ÜBER DEN VERLAUF DER BAUTEILOBERFLÄCHENTEMPERATUREN

Die Wandtemperaturen in einem Raum bilden einen wichtigen Bestandteil für die Behaglichkeit. Kalte Flächen lassen frösteln, Schimmelpilze können gedeihen. Mit warmen Flächen kann die Raumtemperatur gesenkt werden. Das Schwanken der Oberflächentemperaturen wird als unstatig wahrgenommen. Massive Konstruktionen bringen hier die grössten Vorteile ein. Mit Holz hat man zudem noch ein Material, das als Isolator bei einer Berührung keine Wärme entzieht.



VERLÄSSLICHE KENNTNISSE ÜBER DEN VERLAUF DER RAUMLUFTTEMPERATUREN

Menschen fühlen sich mit leichter Kleidung bei geringer Aktivität in einem Temperaturbereich von 21 bis 22 Grad Celsius am wohlsten. Auch hier spielen weitere Faktoren mit wie die oben erwähnten Oberflächentemperaturen der umgebenden Wände und der Luftbewegungen. Lufttemperaturen in Massivholzkonstruktionen lassen sich besser steuern und sind geringeren Schwankungen als in Leichtkonstruktionen unterworfen. Der Holzbau gewinnt an Attraktivität, wenn verlässliche Systemleistungen bereits geplant und in das konstruktive Konzept eingebracht werden können. Dazu hilft das Softwaretool dyAna.



VERLÄSSLICHE KENNTNISSE ÜBER DEN VERLAUF DER LUFTFEUCHTEWERTE

Die passende Luftfeuchte in einem Raum schafft Behaglichkeit. Nicht nur der Mensch reagiert auf zu trockene oder zu feuchte Luft sondern auch Stoffe und Pflanzen. Dem Nivellement der idealen Luftfeuchte kommt eine grosse Bedeutung zu. Auch hier leisten Massivholzkonstruktionen mit ihrem Sorptions- und Speichervermögen einen unschätzbaren Dienst im Ausgleich der Feuchtwerte. Die Quantifizierungen lassen sich ab Ende Mai 07 mit dyAna rechnen oder nachweisen. Der Holzbau gewinnt an Image, wenn es gelingt, fechtebehagliche Räume zu konstruieren und auch zu steuern.



SITZUNGSTERMINE IN GAIS UND ZÜRICH

Das Projektteam hat sich an den folgenden Sitzungen zum Teil mit projektbedingten Zuzügen.

